

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Я.М. Корнієнко

(підпис)
“ ” _____ 2019 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

**на тему: Розроблення випарного і мембранного апаратів для
модернізації установки виробництва карбаміду**

Виконав студент 6-го курсу, групи ЛН-81мп

Кушнірук Віталій Миколайович

_____ (підпис)

Керівник проекту канд. техн. наук, ст. викл. С.В. Гулієнко

_____ (підпис)

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд.техн.наук, доц. І.М. Ковтун

_____ (підпис)

розробка стартап-проекту

доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна

_____ (підпис)

технологія виготовлення деталі “трубна решітка”

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

_____ (підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук А.Ю. Сазонов

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ В.М.Кушнірук

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Магістр»

спеціальність: 133 - Галузеве машинобудування

освітня програма (спеціалізація): Обладнання хімічних, нафтопереробних та целюлозно-паперових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Я.М. Корнієнко
«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Кушніруку Віталію Миколайовичу

1. Тема дисертації: «Розроблення випарного і мембранного апаратів для модернізації установки виробництва карбаміду»

керівник дисертації Гулієнко С.В. кандидат технічних наук, доцент

затверджені наказом по університету від “01” листопада 2019 р. № 3807 – с.

2. Термін подання студентом проекту: 1 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Продуктивність випарного апарату – 5 т/год. Апарат зворотного осмосу з початковою концентрацією – 0.6 моль/л.

4. Зміст пояснювальної записки:

а) основна частина: обґрунтувати вибір конструкцій випарного апарату та апарату зворотного осмосу, виконати розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій, а саме, технологічний, параметричний, конструктивний, гідравлічний розрахунки, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкцій цих апаратів;

б) маркетинг стартап-проектів: створити стартап-проект модернізованого апарату;

в) охорона праці: провести аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов'язані з експлуатацією установки, запропонувати заходи щодо обмеження їх дії, виконати відповідні розрахунки, викласти основні правила безпечної експлуатації установки та дій обслуговуючого персоналу у надзвичайних ситуаціях;

г) частина автоматичного керування: скласти та обґрунтувати схему автоматизованого керування установкою; скласти специфікацію приладів, що комплектують схему;

д) технологія машинобудування: розробити маршрутні карти виготовлення трубної решітки, виконати розрахунки режимів різання, розробити пристрій для свердління.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):принципова схема установки – А1, схема автоматичного керування – А1, складальні креслення: випарного апарату – А1, мембранний апарат – А1, грійоча камера – А1, корпус – А1, плакат – А1, плакат – А1, плакат – А1, ілюстрація технічної ідеї патенту – А3.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Ковтун І.М.		
Маркетинг стартап-проектів	Юдіна Н.В.		
Технологія виготовлення заглушки люка теплообмінника	Двойнос Я.Г.		
Автоматичний контроль і керування процесом	Сазонов А.Ю.		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2019 р.

РЕФЕРАТ

УДК 661.717.5

Магістерська дисертація на тему «Розроблення випарного і мембранного апаратів для модернізації установки виробництва карбаміду» / КПІ ім. Ігоря Сікорського;; Керівник С. В. Гулієнко. – К., 2019. Викон. – В.М. Кушнірук– Бібліогр.: с. 125.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 40 найменувань. Загальний обсяг записки становить 178 сторінок, з них 125 сторінок основного тексту, 32 рисунків, 24 таблиць.

Мета магістерської дисертації – є модернізація установки виробництва карбаміду з розробкою випарного апарата та апарата зворотного осмосу.

Записка містить опис технологічного процесу, вибір типу апаратів, їх місце в технологічній схемі, технічну характеристику апаратів, обґрунтування вибору конструкцій апаратів, що проектуються і принцип дії їх основних складальних одиниць та деталей, порівняння основних показників розробленої конструкції апаратів з аналогами, патентне дослідження конструкцій апаратів. Наведено заходи, щодо охорони праці, рекомендації з монтажу та експлуатації. Проведено модернізацію установки та розроблено стартап проект.

Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій випарного апарату та апарату зворотного осмосу. Визначено рівень стандартизації та уніфікації. Розроблено автоматичну схему керуванням процесом.

КАРБАМІД, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, АПАРАТ ЗВОРОТНЬОГО ОСМОСУ, КОНЦЕНТРУВАННЯ.

РЕФЕРАТ

УДК 661.717.5

Магистерская диссертация на тему «Разработка испарительного и мембранного аппаратов для модернизации установки производства карбамида»/ КПИ им. Игоря Сикорского; Руководитель С. В. Гулиенко. - М., 2019. Викон. - В.М. Кушнирук- Библиогр .: с. 125.

Пояснительная записка состоит из введения, восьми глав, заключения и списка ссылок из 40 наименований. Общий объем записки составляет 178 страниц, из них 125 страниц основного текста, 32 рисунков, 24 таблиц.

Цель магистерской диссертации - является модернизация установки производства карбамида с разработкой выпарного аппарата и аппарата обратного осмоса.

Записка содержит описание технологического процесса, выбор типа аппаратов, их место в технологической схеме, техническую характеристику аппаратов, обоснование выбора конструкций аппаратов, проектируемых и принцип действия их основных сборочных единиц и деталей, сравнение основных показателей разработанной конструкции аппаратов с аналогами, патентное исследование конструкций аппаратов . Приведены мероприятия по охране труда, рекомендации по монтажу и эксплуатации. Проведена модернизация установки и разработано стартап-проект.

Проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкций испарительного аппарата и аппарата обратного осмоса. Определен уровень стандартизации и унификации. Разработан автоматическую схему управлением процессом.

КАРБАМИД, ВЫПАРНОЙ АПАРАТ, АППАРАТ ОБРАТНОГО ОСМОСА, КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ.

ABSTRACT

UDC 661.717.5

The Master's thesis on the topic "Development of evaporator and membrane apparatus for the modernization of the urea production plant" / Igor Sikorsky KPI; The thesis supervisor S.V. Gulienko. - K., 2019 - 198 p. The developer - V.M. Kushniruk - Bibliogr. : p. 125.

The explanatory note consists of an introduction, eight sections, conclusions and a list of links of 40 titles. The total volume of the note is 178 pages, including 125 pages of the main text, 32 figures, 24 tables.

The purpose of the master's thesis is to modernize the urea production plant with the development of an evaporator and a reverse osmosis apparatus.

The note contains a description of the technological process, the choice of type of apparatus, their place in the technological scheme, the technical characteristics of the devices, the justification of the choice of designs of the designed devices and the principle of operation of their basic assembly units and details, comparison of the main indicators of the developed design of devices with analogues, patent research of designs of devices. Measures on safety, installation and operation recommendations are given. The installation was modernized and a startup project was developed.

The calculations confirming the efficiency and reliability of the designs of the evaporator and the reverse osmosis apparatus were carried out. The level of standardization and unification is determined. An automatic process control scheme has been developed.

CARBAMID, EVAPORATIVE APPARATUS, REVERSE OSMOSIS APPARATUS, CONCENTRATION.

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	13
Вступ.....	14
1 Призначення та область використання установки	16
1.1 Опис технологічного процесу	16
1.2 Вибір апарата та його місце в технологічній схемі.....	17
2 Технічна характеристика апаратів	19
3 Опис та обґрунтування конструкції випарного апарату	20
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей	20
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами	22
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкції апаратів.....	24
4.1 Наукові дослідження	37
4.1.1 Мета і задачі дослідження	37
4.1.2 Постановка проблеми	37
4.1.3 Матеріали і методи	38
4.1.4 Результати і обговорення	39
4.1.5 Висновки	40
4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата	40
4.2.2 Конструктивний розрахунок	44

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ					
Зм.	Лист	№ док-м.	Підпис	Дата	Модернізація установки лінії виробництва карбаміду			Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Кішнірчук									
Перев.	Гциленко								10	
								КПІ ім. ІгоряСікорського, ІХФ, каф. МАХНВ		
Н.Контр.										
Затв.										

4.2.3 Розрахунок штуцерів.....	45
4.2.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском.....	49
4.2.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском	51
4.2.6 Розрахунок еліптичного днища.....	53
4.2.7 Розрахунок конічного днища	55
4.2.8 Розрахунок фланцевого з'єднання	57
4.2.9 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап	67
4.2.10 Розрахунок товщини теплової ізоляції.....	72
4.3 Визначення основних геометричних розмірів апарату зворотного осмосу.....	74
4.3.1 Наближений розрахунок поверхні мембрани	74
4.3.2 Вибір апарата та його основних параметрів	76
4.3.3 Секціювання апаратів в установці.....	78
4.3.4 Розрахунок спостережуваної селективності	78
4.3.5 Розрахунок гідравлічного опору	84
4.2.3 Розрахунок на міцність одношарової циліндричної обичайки	86
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	88
5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	89
5.1.2 Виробниче освітлення	91
5.1.3 Виробничий шум і вібрації	91

5.1.4 Повітря робочої зони.....	93
5.1.5 Пожежна безпека.....	94
5.1.6 Надзвичайні ситуації.....	95
6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата	98
7 Рівень стандартизації та уніфікації	100
8 Розроблення стартап-проекту.....	102
8.1. Опис ідеї проекту	102
8.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	104
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	105
8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером.....	109
8.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту.....	113
8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	115
8.7 Висновки.....	118
Висновки.....	119
Выводы	120
Conclusions.....	121
Перелік посилань	122
Додаток А.....	126
Додаток Б.....	140
Додаток В	151
Додаток Г	155
Додаток И	162
Додаток І	173

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Умовні позначення:

h – висота, м;

D, d – діаметри, м;

δ – товщина, м;

f – площа поперечного перерізу, м²;

G – масова витрата, кг/с;

χ – концентрація, % (мас.);

Q – теплове навантаження, Вт;

P – тиск, Па;

T – температура, К;

r – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

ρ – густина, кг/м³;

c – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

σ – поверхневий натяг, Н/м.

Критерії:

Nu – критерій Нуссельта;

Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля.

Вступ

В сучасному суспільстві сільське господарство активно розвиває рослинництво. Використання добрив грає важливу роль в збільшенні врожайності, тому від його виробництва залежить родючість землі.

Карбамід - це концентроване амідне добриво(сечовина), що містить до 46% азоту. Також карбамід застосовують як азотисту добавку для корму худоби. Виробляється карбамід у вигляді світло-білих гранул або кристалів. Добриво розчинне у воді, біологічно кисле, так як під дією ґрунтових мікроорганізмів піддається різним мікробіологічним процесам, де кінцевим продуктом є солі азотної кислоти.

Крім того відбувається інтенсивне зростання продуктивності в хімічній промисловості, зокрема у виробництві карбаміду. В промислових масштабах карбамід найчастіше отримують синтетично з аміаку і двоокису вуглецю. Найважливішими елементами на лінії виробництва карбаміду є випарний апарат для підвищення ефективності роботи якого було вирішено використати апарат зворотного осмосу.

У процесі випарювання з розчину, що здебільшого являє собою однорідну систему та включає розчинник(вода) і розчинену нелетку речовину(карбамід), виділяють і видаляють у вигляді пари частину розчинника, при цьому відбувається підвищення концентрації розчиненої речовини, що перебуває в розчині, але є втрати карбаміду з парою, тому використовують апарат зворотного осмосу.

Процеси мембранного розділення, зокрема зворотного осмосу, є поширеними оскільки вони дозволяють зменшити кількість обладнання, зменшити викиди карбаміду з водою у навколишнє середовище.

Мета даної роботи полягає в проектуванні випарного апарата та апарату зворотного осмосу для концентрування розчину, одного з основних компонентів при виробництві карбаміду.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для реалізації поставленої мети проекту необхідно відповідно до заданих умов вибрати належні конструкції апаратів, розрахувати на підтвердження працездатності та надійності обраних конструкцій у визначених умовах експлуатації, виконати комплект креслень, що розкриває конструкції апаратів, а також провести експериментальне дослідження.

Робота містить докладні відомості про призначення та область застосування випарних апаратів та апаратів зворотного осмосу в різних галузях промисловості; технічну характеристику, описи конструкцій апаратів та обґрунтування їх вибору, яке базується на порівнянні окремих класифікаційних ознак апаратів та визначається умовами експлуатації. Приводиться порівняння основних показників апаратів зі створеними на сьогодні аналогами. Викладені також результати патентного пошуку, які дають змогу оцінити патентну здатність запропонованих конструкцій.

Завдання одержане під час проходження виробничої практики в інституті газу НАН України 1 вересня 2019 р.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення та область використання установки

1.1 Опис технологічного процесу

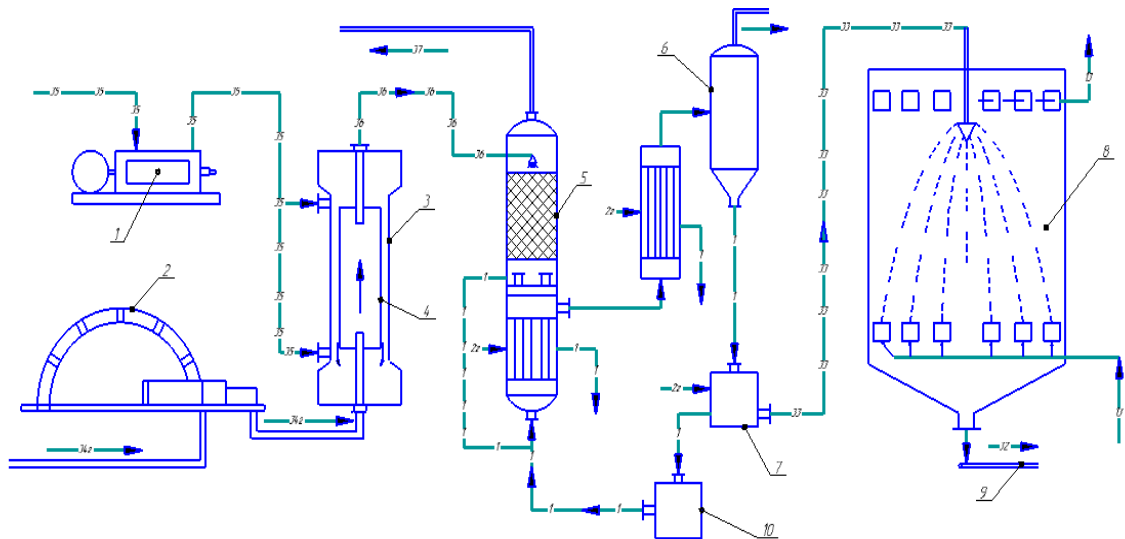
Карбамід отримують синтетично з аміаку і двоокису вуглецю.

Виробництво карбаміду включає стадії хімічної взаємодії (NH_4) та вуглекислого газу (CO_2), дистиляція продуктів синтезу и переробки розчинів карбаміду, отриманих при дистиляції, в готовий продукт. Синтез проходить в дві стадії. В першій відбувається створення карбаміновокислотного амонію(карбамату). В другому випадку відбувається дегідратація карбамату з утворенням карбаміду в рідкій фазі(розплаву). Виробництво карбаміду відбувається з використанням прямого синтезу і використовують колону з легованої сталі.

Технологічний процес виготовлення карбаміду зображено на рисунку 1.1, відповідно до [1], працює таким чином.

Внутрішній циліндр 4, який знаходиться всередині колони 3, призначений для захисту корпусу високого тиску від агресивного реакційного середовища. Через насос 1 подається рідкий аміак в кільцевий простір між корпусом і внутрішнім циліндром, для омивання корпусу, захищає його від впливу реакції агресивного середовища з двоокисом вуглецю, який подається знизу через компресор 2 в внутрішній простір циліндра. Колона робить за режимом витіснення. В верхній частині колони плав карбаміду відводиться, дроселюється до атмосферного тиску і направляється в дистиляційну колону 5, де від розчину карбаміду відганяється аміак і продуктів розкладення вуглеаміноїних солей. Випарювання розчину карбаміду відбувається в випарному апараті 6 потім потрапляє до збірника плаву 7. Та шляхом кристалізації чи грануляції роблять карбамід в грануляційній башті 8. Готовий висушений карбамід виходить через транспортер 9.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



1– насос; 2 – компресор; 3 – колона синтезу; 4 – внутрішня реакційна камера; 5 – дистиляційна колона; 7 – збірник плаву; 8 – грануляційна башта; 9 – транспортер; 10 – апарат зворотного осмосу

Рисунок 1.1 – Технологічна схема лінії виробництва карбаміду

В збірнику плаву дистилят лишній направляються на апарат зворотного осмосу 10, звідки забираються залишки карбаміду в рідині і знову ці залишки запускаються в процес.

1.2 Вибір апарата та його місце в технологічній схемі

Найбільш селективні і ефективні за коефіцієнтом розділення розчинів є мембрани зворотного осмосу. Вони мають найменші пори. Середній відсоток, який затримує речовина зворотноосмотична мембрана становить 97- 99%. Мембрана проникна для розчинника (води) і непроникна для розчиненої речовини (карбаміду). Тобто буде відбуватися відділення розчиненої речовини(карбаміду) від розчинника. Такий процес отримав назву зворотний осмос [2]. Найбільш поширенні мембранні модулі це рулоновані. Вони мають зручну конструкцію, чим відрізняється від інших. Наявність тонкого робочого шару дозволяє більш продуктивно віднести даний тип до фільтрувальних апаратів, якого пори забиваються рідко. Також важливим апаратом в схемі виробництва карбаміду є

випарний апарат. Який забезпечує ретельне випарювання розчину карбаміду, для підвищення концентрації розчиненої речовини.

Використовуються випарні апарати для виробництва добрив, мінеральних солей та інших органічних продуктів органічних продуктів, щоб концентрувати водні розчини. Тип апарату вибирають за конкретними властивостями розчину і його області використання.

Випарні апарати бувають з природною та штучною циркуляцією. Випарні апарати з природною циркуляцією мають співвісну гріючу камеру, доцільно використовується, щоб випарювати розчини, які мають виділяти кристали і утворювати осад на поверхні, яка гріється, його можна легко видалити при промиванні.

З штучною циркуляцією апарати використовують в основному для випаровування в'язких розчинів та складну конструкцію апарата.

Оскільки розчин карбаміду має не сильно в'язкий, та при концентруванні не має утворювання стійких кристалів, тому доцільно буде використовувати випарний апарат з природною циркуляцією, співвісною гріючою камерою та виносною циркуляційною трубою, що підвищує циркуляцію.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічна характеристика апаратів

Випарний апарат

Продуктивність по випареній волозі, кг/с	1,389;
площа поверхні теплообміну, м ²	125;
максимальний тиск в апараті, МПа:	
- міжтрубний простір	0,06;
- трубний простір	0,12;
максимальна температура в апараті, К(°С)	433(160);
маса випарного апарата, кг	10000;
габарити випарного апарату, мм:	
- висота	13800;
- ширина	4072;
середовище	
- в трубному просторі	розчин карбаміду;
- в міжтрубному просторі	насичена водяна пара.

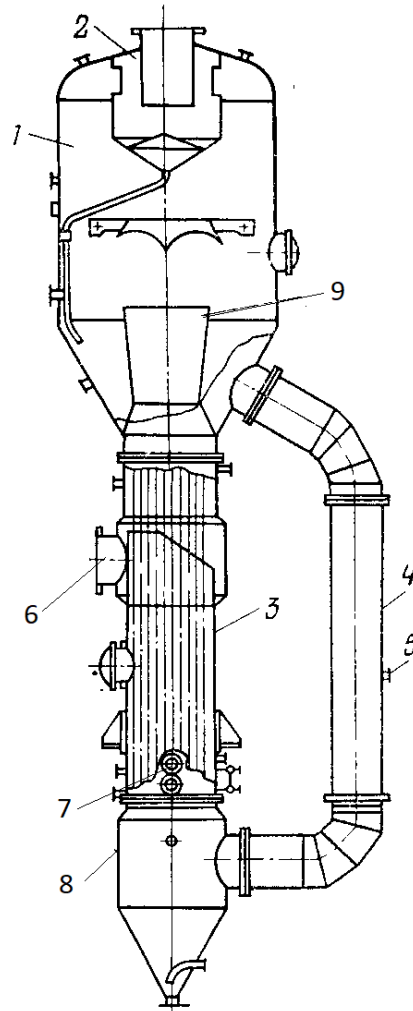
Апарат зворотного осмосу

Кількість фільтраційних елементів, м ²	3
Поверхня мембран в апараті, м ²	51;
Робочий тиск в апараті, МПа	5;
Робоча температура, К(°С)	293(20);
габарити розміри, мм:	
- довжина	2540;
- діаметр	300;
Маса, кг	170

3 Опис та обґрунтування конструкції випарного апарату

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей

Схема випарного апарату представлена на рисунку 3.1[3].



1 – сепаратор; 2 – краплевлловлювач; 3 – камера; 4 – спускна циркуляційна труба; 5 – вхід початкового розчину; 6 – вхід гріючої пари; 7 – вихід конденсату; 8 – збірник твердого осадку; 9 – труба закипання.

Рисунок 3.1 – Випарний апарат з природною циркуляцією та виносною циркуляційною трубою

Випарний апарати з виносною циркуляційною трубою, та внутрішньою співвісною гріючою камерою широко використовують в харчовій та хімічній

промисловості. Основні вузли цього випарного апарата є гріюча камера, циркуляційна труба і сепаратор. Сепаратор має форму циліндричної ємності з еліптичною кришкою, яка приєднана до гріючої камери. Відбійник, який служить для розділення крапель рідини від вторинної пари встановлено у сепараторі. Гріюча камера має вигляд одноходового кожухотрубного теплообмінника.

Щоб підвищити швидкість для циркуляції розчину за межі нагрівальної камери виносять зону кипіння. Конструктивно це можна досягнути за рахунок розташування над гріючою камерою трубу закипання, висоту якої обирають з розрахунком, щоб при надлишковому гідростатичному тиску розчин перегрівався в камері нагрівання відносно його температури насичення в сепараторі. Тому кипіння перегрітого розчину відбувається у верхній частині труби закипання..

Під час роботи апарата рівень рідини має підтримуватися по верхній кромці труби закипання. Знижуючи рівень буде зменшуватись продуктивність, а підвищуючи рівень буде викликати підвищення рівня виносу розчину вторинним паром і гідравлічні удари.

Щоб провести процес зворотного осмосу часто використовують апарати з рулонованими (спіральними) мембранними модулями (рисунок 3.2), такі мембрани мають високу питому площу поверхні та простоту конструкції цих апаратів [4]. Складаються вони з центральної перфорованої трубки накрученими навколо неї з трьома шарами матеріалу: основний мембранний і дренажна прокладка, в яких загорнутий з обох сторін мембранний матеріал. Також прикріплюється сітка сепаратор. Мембранний пакет скручується у вигляді рулону навколо центральної труби і, за допомогою сітки сепаратора, між шарами мембранного пакету є проміжки, що слугують напірним каналом для руху сировини . Вода подається з торця мембрани, проходить по спіралі через мембрану і прокладки, а потім потрапляє в дренажну трубу (центральну трубу), з якої видаляється як пермеат . Розчинені у воді забруднювачі відводяться з рулонного фільтра з іншого торця, як рентантат.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

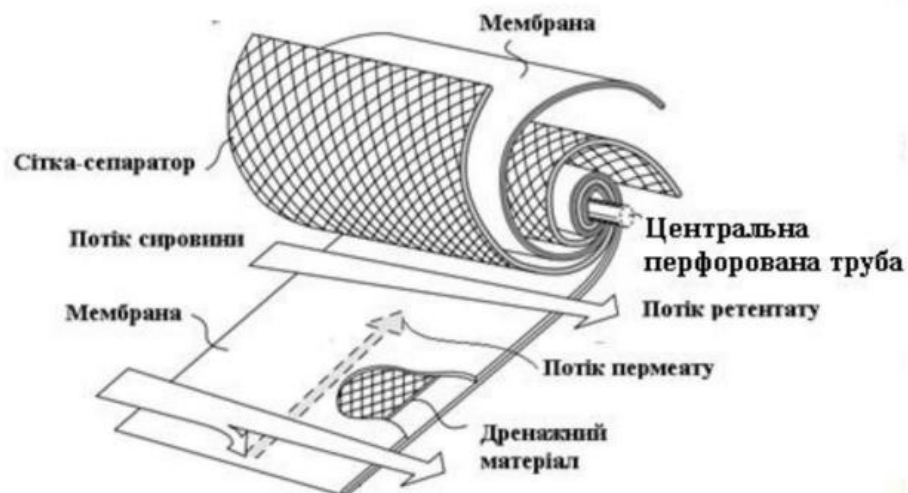


Рисунок 3.2 – Рулонований мембранний модуль

Для окремого виведення пермеату і ретантату з апарату рулоновані модулі встановлюють в корпусах.

3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції апарата з аналогами

Для упарювання розчину карбаміду використовують випарний апарат з примусовою циркуляцією та апарат зі стікаючою плівкою, або апарат з винесеною циркуляційною трубою. З примусовою циркуляцією використовують здебільшого для випаровування розчинів з великою в'язкістю, або щоб збільшити теплове навантаження та підняти коефіцієнт тепловіддачі. Недолік цих апаратів є великий вміст рухомих елементів, які можуть легко зношуватись і виходити з ладу, необхідне використання циркуляційного насоса, який потребує додаткові затрати на енергію. Випарні апарати з висхідною плівкою використовують для термолабільних розчинів, основні їхні недоліки це наявність значної кількості рухомих елементів.

Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами описані в таблиці 3.1[2].

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Випарний апарат з виносною циркуляційною трубою та вільною циркуляцією (що проектується)	Випарний апарат з примусовою циркуляцією і винесеною гріючою камерою	Випарний апарат зі стікаючою плівкою
Продуктивність, кг/с	1,389(1)	1,389(1)	1,389(1)
Висота, мм	13500(1)	18500(0)	14000(0)
Діаметр, мм	1000(1)	1000(1)	1000(1)
Площа теплообміну, м ²	125(1)	100(0)	120(0)
Маса, кг	11500(1)	14000(0)	12500(0)
Сума балів	5	2	2

Природна циркуляція не вимагає додаткових затрат енергії на переміщення розчину. Перевагою апарату, що проектується, є маса та менші габаритні розміри, тобто менша матеріалоемність порівняно з аналогами, які мають таку саму площу поверхні теплообміну.

Порівняння основних показників конструкції апарату зворотного осмосу з аналогами описані в таблиці 3.2[5].

Основне завдання зворотного осмосу ґрунтується на фільтруванні розчинів під високим тиском через напівпроникну мембрану, що пропускає розчинник та затримує речовини, що розчинюються. Розділення проходить при температурі оточуючого середовища, без фазових перетворень, тому затрати енергії значно менше ніж розділення іншими методами. Висока економічна ефективність, відносно мала та простота апаратури зворотного осмосу.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників конструкції з аналогами

Технічна характеристика	Зворотній осмос	Іонний обмін	Випарювання
Продуктивність, кг/с	0,231(1)	0,231(1)	0,231(1)
Якість готового продукту, кг/кг	$1,601 \cdot 10^{-4}(1)$	$1,875 \cdot 10^{-4}(0)$	$1,747 \cdot 10^{-4}(0)$
Питомі енерговитрати	4897 Дж/кг (1)	5500 Дж/кг (0,5)	1850 кДж/кг (0)
Неперервність дії	так(1)	ні(0)	так(1)
Додаткове обладнання	так(0)	так(0)	ні(1)
Габаритні розміри, мм	H = 2540, D = 300 (1)	H = 600, D = 400(0,5)	H = 12000, D = 400(0)
Сума балів	5	2	3

Ще одна з переваг це накопичення домішок всередині модуля, що запобігає попаданню карбаміду в очищену воду.

3.3 Вибір матеріалів елементів конструкції апаратів

Для вибору матеріалу використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти обидва апарати. Великий вплив на вибір матеріалу апарату має область його використання. Оскільки апарат зворотного осмосу і випарний апарат використовуються для очищення води (для сільськогосподарських, харчових потреб), то обираємо корозійностійкі матеріали. Виникнення корозії ускладнює очистку та дезінфекцію, що може негативно вплинути на підтримку асептичних умов. Враховуючи, що тиск в апараті зворотного осмосу становить 5 МПа в випарному апараті 0,12 МПа, а до апаратів низка високих вимог по асептичності, то вибираємо марку сталі 12X18H10T

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

ГОСТ 5632-72. Матеріал з якого виготовляється мембрана використовуємо ацетат целюлози.

Інші деталі випарного апарату виготовляємо з відносно дешевої сталі Ст3сп ГОСТ 380-94.

Болти виготовляються із вуглецевої сталі марки 35 Х ГОСТ 4543-71.

Шайби виготовляються із сталі Ст3 ГОСТ 380-94.

Прокладки виготовляються із пароніту ПОН-1 ГОСТ 461-80; використовуються при температурі 73...673 К та умовному тиску до 2,5 МПа, тобто задовольняє вимогам даного апарата.

3.4 Патентний огляд конструкції апарата

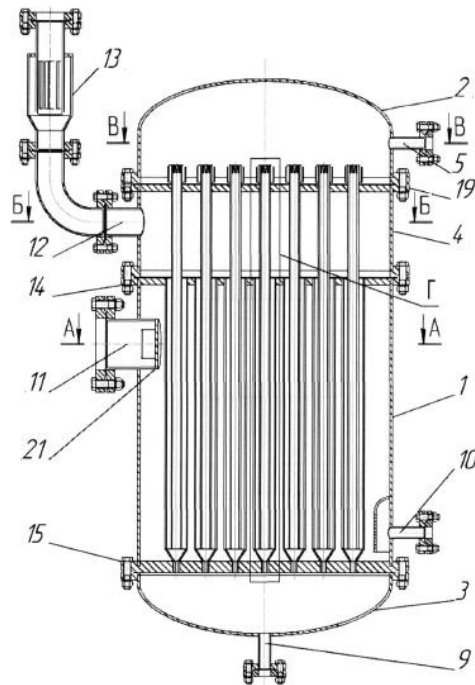
Щоб перевірити патентну чистоту конструкції і знаходження об'єктів для порівняння було проведено патентний пошук. Суттєві ознаки апарату є: сепаратор, гріюча камера, циркуляційна труба. Для аналізу були обрані патенти [6-15].

Корисна модель плівкового випарного апарата [6] належить до хімічної промисловості й може бути використана на об'єктах харчової, біотехнологічної, хімічної та фармацевтичної промисловості.

Випарний апарат (Рисунок 3.3) складається із корпусу, в якому є вертикальні гріючі труби, які мають нижні заглушені кінці. Розміщення внутрішніх труб аксіально гріючих труб. Проміжна камера має патрубок для виведення вторинної пари і патрубок для введення випарюваного розчину і виведення упареного продукту.

Таке виконання плівкового апарата запобігає можливості забивання проміжку між внутрішніми і зовнішніми трубами, що має прискорювати вилучення упареного розчину та збільшує ефективність апарату в цілому, а маючи таке конструктивне виконання упарений розчин потрапляючи в відстань між трубами майже не має затримки там.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

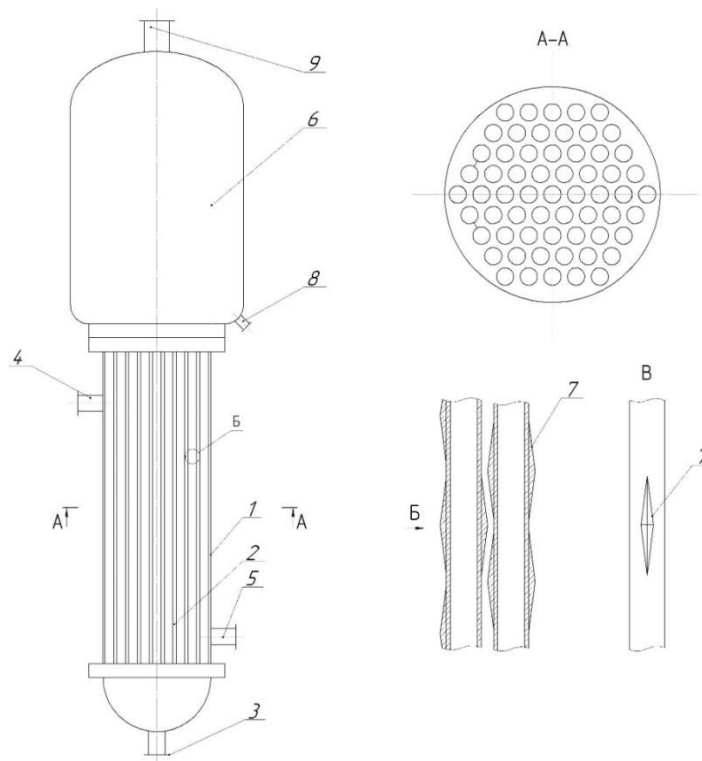


1 – корпус; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – проміжна камера; 5 – штуцер для входу вхідного розчину; 6 – ковпачки; 7 – зовнішні труби; 8 – отвори для виходу концентрованого розчину; 9 – штуцер для виходу готового продукту; 10 – штуцер для виходу готового конденсату; 11 – штуцер для входу гріючої пари; 12 – штуцер для виходу вторинної пари; 13 – сепаратор; 14 – зовнішні труби; 15 – трубна решітка для зовнішніх труб; 16 – внутрішні труби; 17 – прорізи внутрішніх труб; 18 – отвори в ковпачках; 19 – трубна решітка для внутрішніх труб; 20 – захисна пластина.

Рисунок 3.3-Схема плівкового випарного апарата

Недолік такого виконання є складність конструкції міжтрубного простору, що практично з довгим режимом роботи має намір забиватись.

У патенті [7] описано випарний апарат (Рисунок 3.4), що містить корпус, теплообмінні труби, сепаратор, штуцери для входу і виходу середовищ, співвісну циркуляційну камеру. Труби мають ребрення різної форми, що мають сприяння турбулізації плівки водяної пари, що не блокує значну поверхню теплообмінних труб.

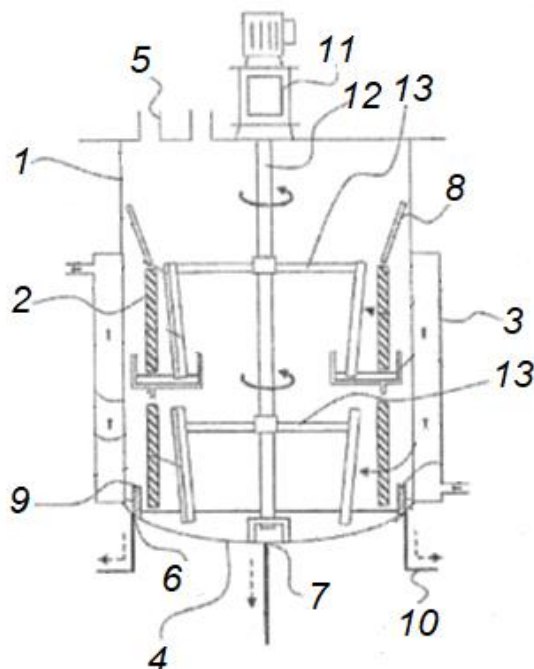


1—гріюча камера; 2—труби; 3—патрубок для входу початкової суміші; 4—патрубок для входу гріючої пари в міжтрубний простір; 5—патрубок виходу конденсату; 6—сепаратор; 7—турбулізуючі вставки; 8—патрубок для виведення упареного розчину; 9—патрубок для виведення вторинної пари.

Рисунок 3.4 – Схема випарного апарата

Недолік даної конструкції є розташування в середині апарата циркуляційної камери, що зменшує природну циркуляцію. Турбулізуючі вставки у формі піраміди, запобігає швидкому стіканні плівки, яка зростає в товщині, призводить описано роторний випарний апарат, який має висхідну плівку (Рисунок 3.5), що має використання концентрувати хімічні сполуки та відділяти від них леткі домішки, може бути використаний в хімічній та харчовій промисловості.

Випарний апарат [8] складається з корпусу, джерела теплоти, зовнішньої оболоні, яка функціонує як конденсатор, патрубки для входу і виходу початкової та концентрованої суміші, днище, ротор та перемішуючі пластини, які мають функцію утворювати висхідну плівку, патрубки для виходу конденсату.



1–корпус; 2–джерела тепла; 3–конденсатор; 4–днище; 5–вхід сировини; 6–вихід домішок; 7–вихід концентрату; 8–пластина; 9–перегородка; 10–вихід конденсату; 11–привід; 12– вал; 13–перемішуючий пристрій.

Рисунок 3.5 – Схема випарного апарата

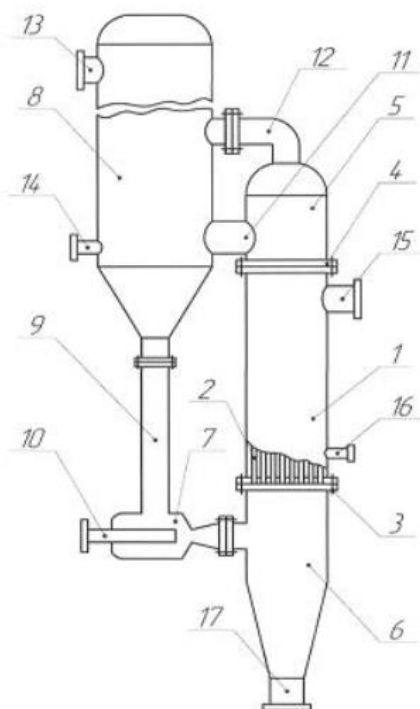
Така конструкція має намір випаровувати в'язкі розчини, оскільки має пристрій для перемішування.

Основний недолік апарата це періодичність дії, щоб вивантажувати очищений розчину потрібно зупиняти установку. Рухомі елементи, які є в наявності, потребують постійного контролю, тому викликають згодом вібрації.

Корисна модель [9] належить до хімічної промисловості, а саме до випарних апаратів, і може бути використана для концентрування розчинів в хімічних, біотехнологічних, харчових та фармацевтичних виробництвах.

Випарний апарат (Рисунок 3.6) містить сепаратор та камеру підігріву, яка містить вертикальні труби, які вставлені в трубні решітки, верхню і нижню камеру розчину, які приєднані до сепаратора за допомогою штуцера та

циркуляційної труби; патрубки для виведення конденсату та пари, ежектор, який за межами камери підігріву.



1 – камера підігріву; 2 – труби; 3, 4 – трубні решітки; 5, 6 – верхні і нижні камери розчину; 7 – ежектор; 8 – сепаратор; 9 – циркуляційна труба; 10 – патрубок вихідного продукту; 11 – основний штуцер подачі упареного розчину; 12 – штуцер подачі пари; 13 – штуцер виведення вторинної пари; 14 – штуцер виводу частини упареного розчину; 15 – штуцер подачі водяної пари;

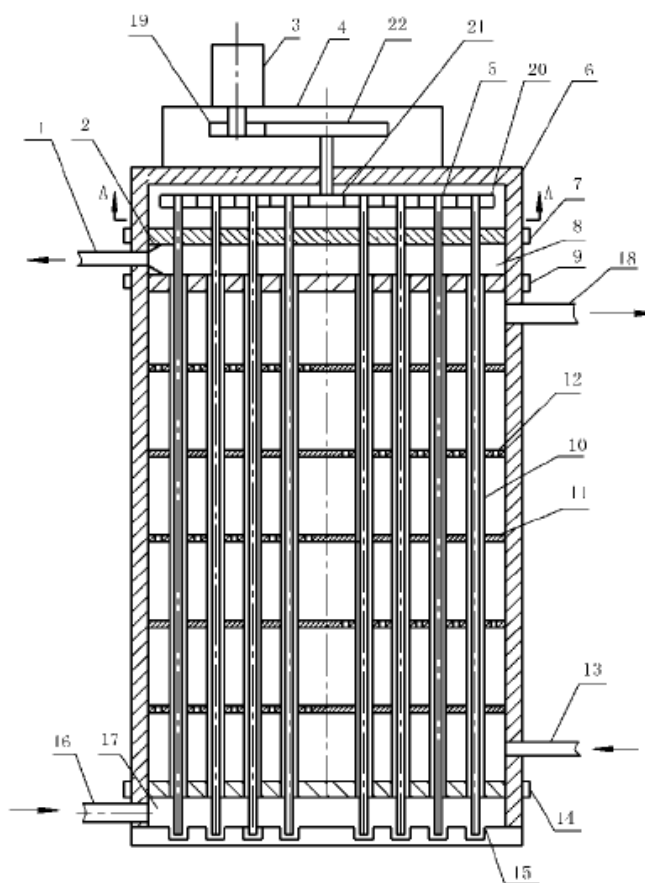
16 – штуцер відводу конденсату; 17 – патрубок виходу упареного розчину.

Рисунок 3.6 – Схема випарного апарату

Така конструкція використовує енергію потоку початкового розчину, щоб забезпечити циркуляцію упареного розчину в апараті, а також пришвидшує початок кипіння розчину за рахунок розрідження в ежекторі.

Основний недолік конструкції є зайва теплова витрата на обігрів ежектора та ремонт апарата.

Корисна модель [10] відноситься до нової системи енергозабезпечення, зокрема до випарника рідкого льоду та системи кондиціонування з використанням цієї конструкції. Випарник (Рисунок 3.7) рідкого льоду використовує технологію переохолодження, яка охолоджує певну концентрацію розчину до певної міри переохолодження та використовує явище осадження льоду сольового розчину для утворення кристалів льоду в розчині.

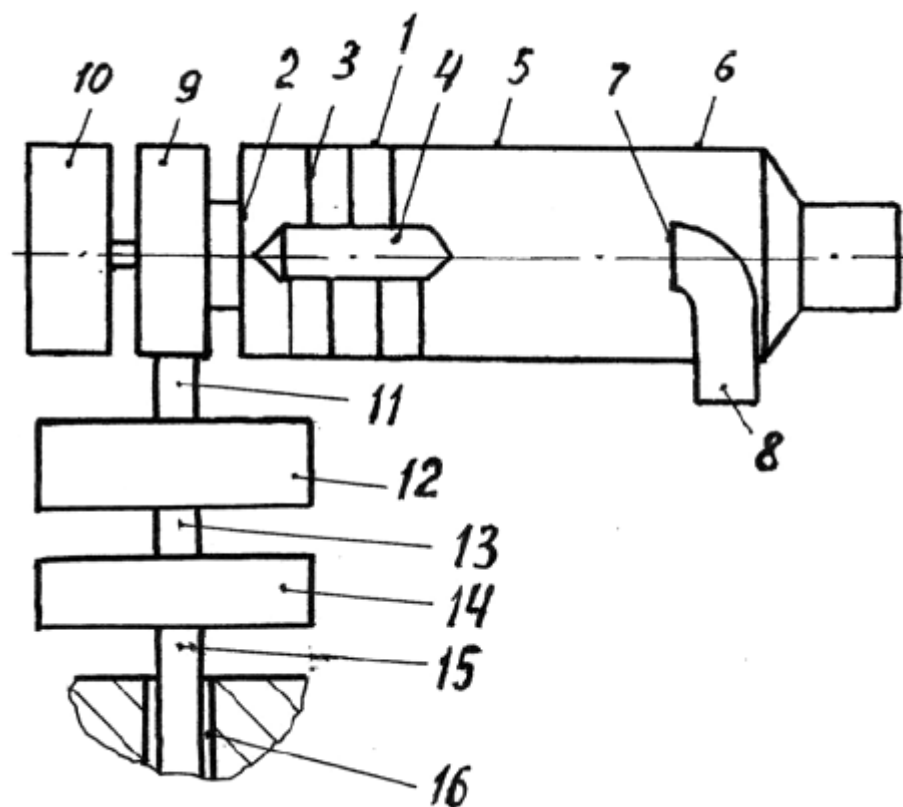


- 1 – вихід з проточного розчину; 2 – дзвоник про обмерзання; 3 – двигун;
 4 – пристрій передачі; 5 – спіральний перемішувальний вал; 6 – корпус;
 7 – верхня опорна пластина; 8 – порожнина з рідким льодом; 9 – верхня перегородка; 10 – рядова трубка; 11 – перегородка; 12 – отвір перегородки;
 13,16 – вхід рідкого холодогенту; 14 – нижня перегородка;
 15 – обмежувач тяги мішалки; 17 – порожнина рідкого холодогенту;
 18 – вихідний отвір для газового холодогенту; 19 – ведуче колесо;
 20 – мішалканти; 21 – ведуче колесо; 22 – ведене колесо.

Рисунок 3.7 – Схема випарного апарату

Основна проблема в тому, що джерело води скидається у вигляді крижано-водної суміші, що значно зменшує споживання води теплового насоса.

В патенті [11] наведена установка (рисунок 3.8) по виробництву легкої води, що містить корпус з вхідним отвором, в якому розміщений шнек. Він з'єднує корпус з центральною трубою, та через окрему свою ділянку простір корпусу зв'язує простір корпусу з простором труби, у якій є центральний вивід назустріч потоку води іншої труби, яка вварена у цю трубу, є насос з приводом.

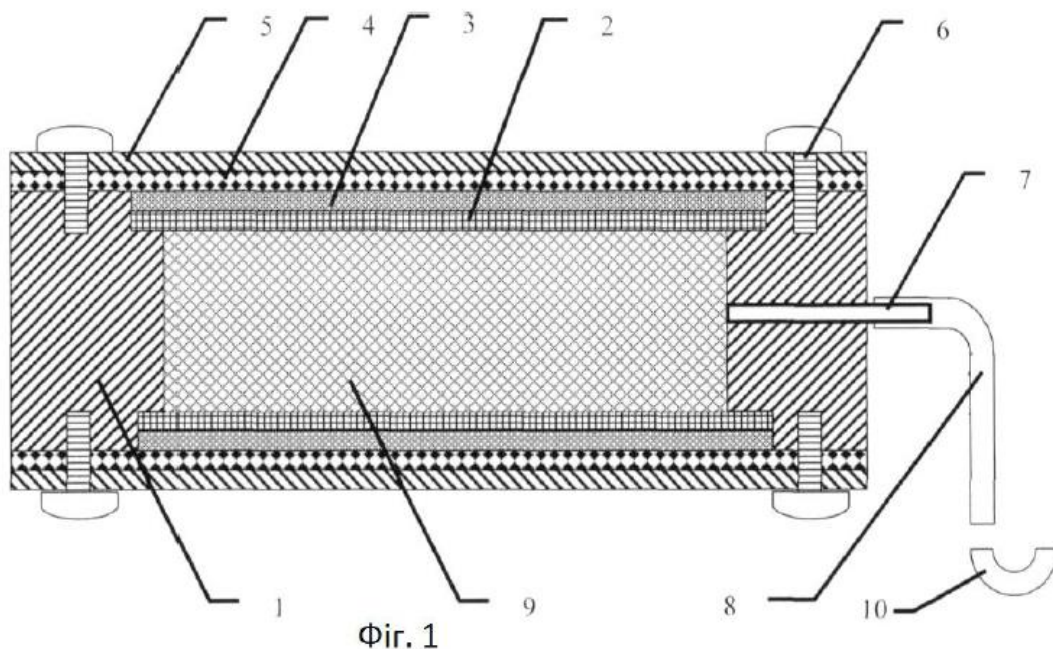


1 – корпус; 2 – вхідний отвір; 3 – шнек; 4 – центральна труба;
5 – простір корпусу; 6 – простір труби; 7 – центральний вивід; 8 – труба потоку води; 9, 14 – насос; 10 – привід; 11, 13, 15 – труба; 12 – система очищення; 16 – свердловина.

Рисунок 3.8 – Установка виробництва легкої води

Великим недоліком цього способу виробництва легкої води є його енергозатратність та мала продуктивність.

В патенті [12] наведений фільтр (рисунок 3.9) для глибокого очищення води, в якому містяться фільтрувальні елементи, які прикріплено до корпусу. Збір фільтрату відбувається в колекторі та присутній шланг для відводу води. Целюлозні мембрани (вологоміцні) використовуються як фільтрувальний елемент, а для очищення самої води застосовується композиційний фільтрувальний матеріал.



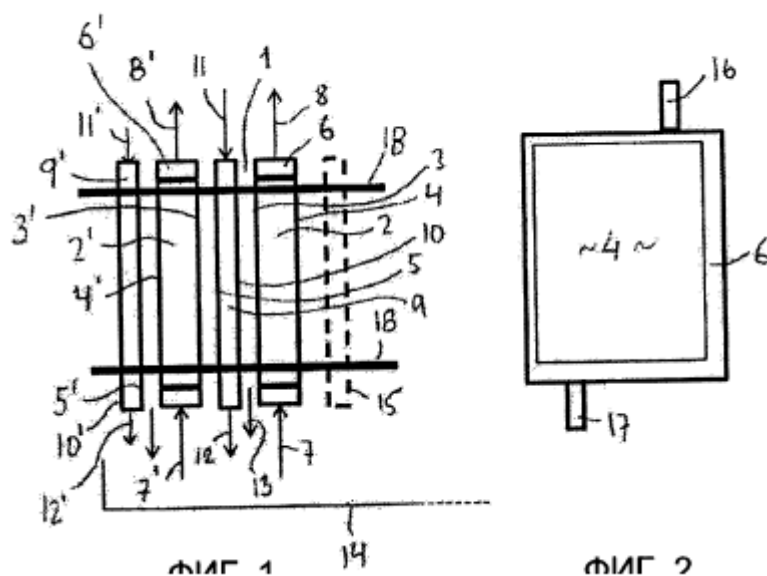
1 – корпус; 2 – пористі підкладки; 3 – мембрани; 4 – гумова прокладка;
5 – пластикова пластина; 6 – закріплюючі гвинти; 7 – патрубок
виведення води; 8 – зливний шланг; 9 – фільтруючий матеріал; 10 – водяний
затвор.

Рисунок 3.9 – Фільтр для глибокого очищення води

Недолік відомого фільтра в тому, що він частково затримує фульвінові та гумінові сполуки, також фільтр зовсім не видаляє іони марганцю і заліза без допомоги попередньої обробки, що не забезпечує якість очищеної води.

В патенті [13] наведена установка (рисунок 3.10) для дистиляції, таким чином, винахід відноситься до пристрою для отримання чистої води, в якому вода, що підлягає очищенню, піддана мембранної дистиляції з

використанням одного або більшої кількості блоків, при цьому кожен з блоків містить простір, яке з одного боку містить першу дископодібну стінку, а з іншого боку мембрану, через яку може проходити вода в газоподібному стані, але не може проходити вода в рідкому стані, і другу дископодібну стінку, при цьому стінки розташовуються на різних сторонах мембрани і на відстані від неї, вода виводиться між першою стінкою і мембраною, і друга стінка виконана холоднішою, ніж вода, і яке відрізняється тим, що перша дископодібна стінка також є мембраною, через яку може проходити вода в газоподібному стані, але не може проходити вода в рідкому стані, опорою для двох суміжних мембран є загальна рамка.



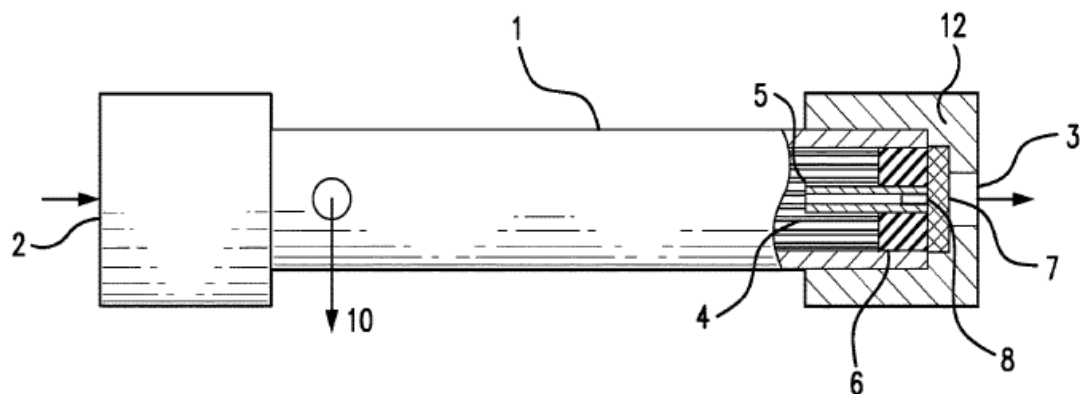
1 – блок; 2 – простір; 3 – мембрана; 4, 5, 10, 15 – дископодібна стінка;
6, 18 – рамки; 7, 11, 16 – вхідний отвір; 8, 12, 17 – вихідний отвір;
9 – камера; 10 – привід; 11, 13 – вихід очищеної води; 14 – збірник.

Рисунок 3.10 – Пристрій для мембранної дистиляції

Недолік в тому, що при пошкодженні мембрани вода, що підлягає очищенню, протікає через мембрану в очищену воду. У зв'язку з цим пошкоджену мембрану необхідно замінити, це означає, що для заміни пошкодженого блоку

пристрій мембранної дистиляції необхідно розібрати, а потім зібрати знову. Це занадто багато роботи і вимагає багато часу.

Винахід [14] стосується мембранного модуля (рисунок 3.11) для некріогенної дегідратації газу, такого як повітря. Модуль дегідратації, що містить безліч полімерних волокон, сконструйованих з матеріалу, обраного таким чином, щоб мати проникність для водяної пари, яка відрізняється від його проникності для повітря, модуль має впускний кінець і випускний кінець, причому модуль додатково містить вуглецевий матеріал, що фільтрує, розташований на випускному кінці, так що весь газ, що проходить через вихідний кінець, повинен проходити через фільтруючий матеріал, причому модуль розміщений в посудині під тиском, тому фільтруючий матеріал і полімерні волокна знаходяться в одній посудині під тиском, і де полімерні волокна являють собою єдині волокна, розташовані всередині судини високого тиску.



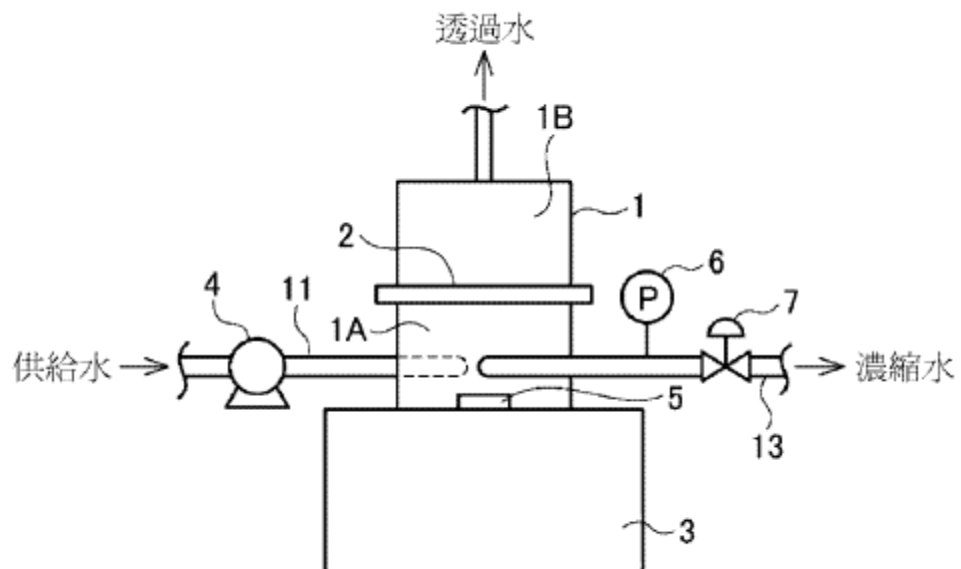
- 1 – модуль; 2 – вхідний канал; 3 – вихідний канал; 4 – волокна;
 5 – проточна вставка; 6 – трубний лист; 7 – фільтруючий елемент;
 8 – проточний отвір; 10 – отвір для газу; 12 – посудина високого тиску;

Рисунок 3.11 – Мембранний модуль

Недолік в тому, що повітря подається в мембранний модуль, звичайно стискається компресором, який змащується маслом. Частинки масла і масляні пари можуть витікати з компресора, додатково забруднюючи газовий потік. Такі

матеріали повинні бути видалені для оптимізації продуктивності газороздільного модуля. Вуглецеві шари використовувалися в попередньому рівні техніки для видалення частинок олії або масляних парів з повітряного потоку. Але надмірна вологість також погіршує робочі характеристики таких вуглецевих шарів, що є ще однією причиною, по якій повітря, що подається в модуль, повинен бути відносно сухим.

Винахід [15] відноситься до способу поділу мембран зворотного осмосу та способу очищення води та для запобігання забрудненню. Обробка мембранного поділу з використанням мембран зворотного осмосу проводиться як вдосконалене лікування з метою видалення домішок та іонів з стічних вод, поверхневі шари та підземні води для отримання води з високою чистотою.



1 – герметичний корпус; мембранна комірка; 3 мішалка; 4– насос високого тиску;

5 – обертовий вал; 6 – контролер тиску; 7 – вентиль ренулювання потоку;
11 – труба.

Рисунок 3.12 – Мембранний модуль

Недолік в тому, наприклад масштабні речовини, які особливо проблематичні при лікуванні мембранным розділенням, включають карбонат

кальцію, сульфат кальцію, фосфат кальцію, силікат кальцію, силікат магнію, гідроксид магнію та сульфат барію, забивають мембрану, утрудняючи стабільний процес відділення мембрани протягом тривалого часу.

Висновок: В результаті проведення патентного дослідження встановлено, що конструкції випарного апарату та апарату зворотного осмосу, що розробляються по основним характеристикам не поступається розглянутим аналогам, тому вони відповідають сучасному рівню розвитку техніки. Основною увагою патентах приділяються підвищенню ефективності апаратів, зменшенню матеріалоємності та додаткових затрат енергії, щоб одержати одиниці продукції, спрощенню конструкції. Документація приведена у патентному пошуку у наведена додатку В.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

4.1 Наукові дослідження

4.1.1 Мета і задачі дослідження

Метою дослідницької частини дисертації є дослідження ефективності концентрування розчинів карбаміду зворотнім осмосом та перевірка селективності комерційно-доступних зворотносомотичних мембран щодо карбаміду.

Задачі дослідження:

Дослідити ефективність концентрування розчинів карбаміду зворотнім осмосом.

Перевірили селективність комерційно-доступних зворотносомотичних мембран щодо карбаміду.

Експериментально дослідити і показати, що зворотній осмос може бути використаний для вилучення карбаміду з конденсату.

Об'єкт дослідження – дослідження селективності комерційно-доступних зворотносомотичних мембран щодо карбаміду..

Предмет дослідження – встановлення впливу прикладеного тиску на ступінь концентрування.

4.1.2 Постановка проблеми

Зворотний осмос належить до групи мембранних процесів, рушійною силою яких є градієнт тиску, – баромембранних процесів. В основі баромембранних процесів лежить явище осмосу – самовільного проникнення розчинника через мембрану до встановлення рівноваги. Рівновага в таких

					<i>ЛН81мп.066621.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

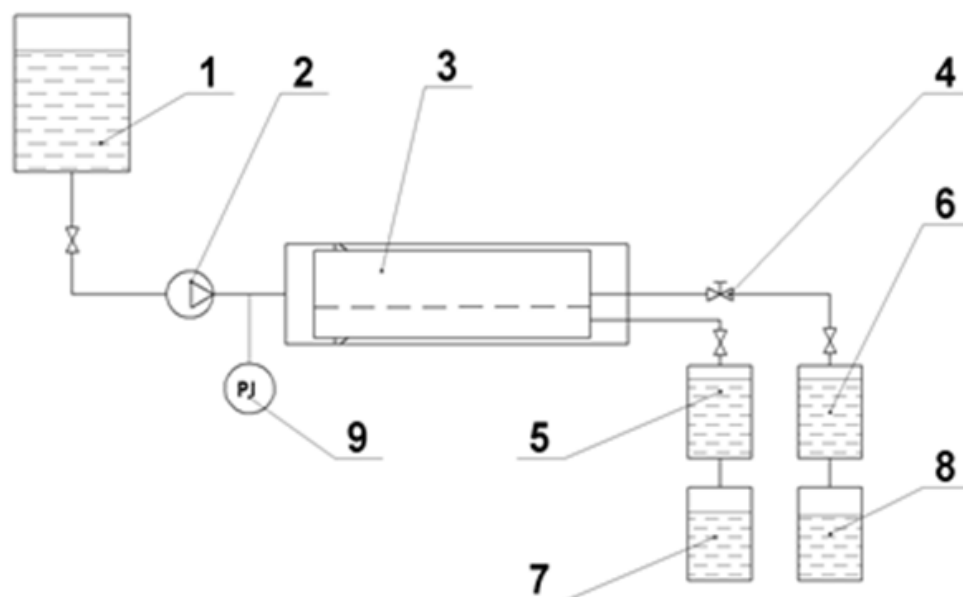
системах характеризується величиною осмотичного тиску. він виникає при контакті двох розчинів різних концентрацій (або розчину і чистого розчинника) через мембрану, яка здатна пропускати розчинник і затримувати розчинену речовину[16-17].

Однак даних щодо селективності зворотноосмотичних мембран відносно карбаміду в джерелах літератури не достатньо. Так само не достатньо інформації щодо можливих ступенів концентрування таких установках.

Метою даного дослідження є перевірка селективності комерційно-доступних зворотноосмотичних мембран щодо карбаміду.

4.1.3 Матеріали і методи

Для проведення експериментів використовувалася експериментальна установка (рисунок 4.1), яка була розроблена в ході попередніх досліджень [18].



1 – збірник розділюваного розчину, 2 – насос, 3 – мембранний апарат; 4 – регулювальний кран; 5 – мірна ємність пермеату; 6 – мірна ємність ретентату; 7 – збірник пермеату; 8 – збірник ретентату; 9 – манометр.

Рисунок 4.1 Експериментальна установка

Методика проведення експерименту полягала в такому. Розділюваний розчин зі збірника 1 насосом 2 подавався на мембранний апарат 3, де відбувався процес зворотного осмосу. Витрати пермеату та ретантату вимірювалися об'ємним методом за допомогою збірників 5 та 8. Продуктивність та робочий тиск регулювався краном 4.

Для приготування розділюваного розчину використовувалася знесолена вода та карбамід (марки А вищого сорту). Експерименти проводилися з концентраціями карбаміду 50 та 100 мг/дм³. Концентрація карбаміду в розчині вимірювалась на основі залежності густини розчину від концентрації карбаміду (тарувальна залежність отримувалася шляхом вимірювання маси розчинів відомої концентрації).

4.1.4 Результати і обговорення

В ході експериментального дослідження на кожну однакову концентрацію робили п'ять вимірювань протягом однакового часу, в діапазоні зміни робочого тиску від 0,2 МПа до 0,6 МПа. Це робили для того, для встановлення впливу прикладеного тиску на ступінь концентрування.

Результати експериментів наведені на рисунку 4.2

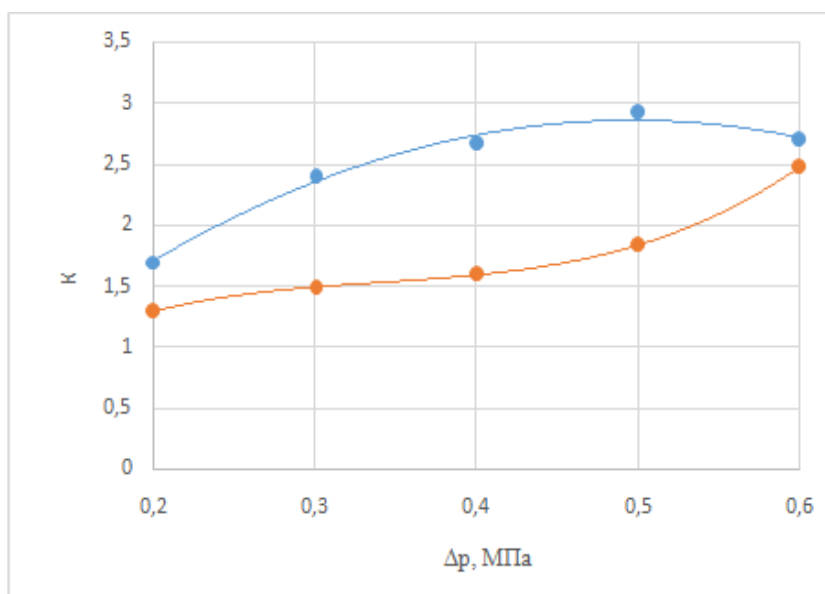


Рисунок 4.2 Графік залежності ступені концентрування від тиску

На графіку видно, що при збільшенні тиску ступінь концентрування збільшується. Тому при збільшенні тиску ефективність концентрування розчинів карбаміду збільшується.

4.1.5 Висновки

Експериментальні дослідження показали, що зворотній осмос дозволяє ступені концентрування від 1,5 до 3, отже цей процес може бути використаний для вилучення карбаміду з конденсату.

4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Мета розрахунку: підібрати необхідну площу поверхні теплообмінну і конструктивні розміри випарного апарата для заданих умов.

Розрахункова схема до параметричного розрахунку наведена на рисунку 4.3.

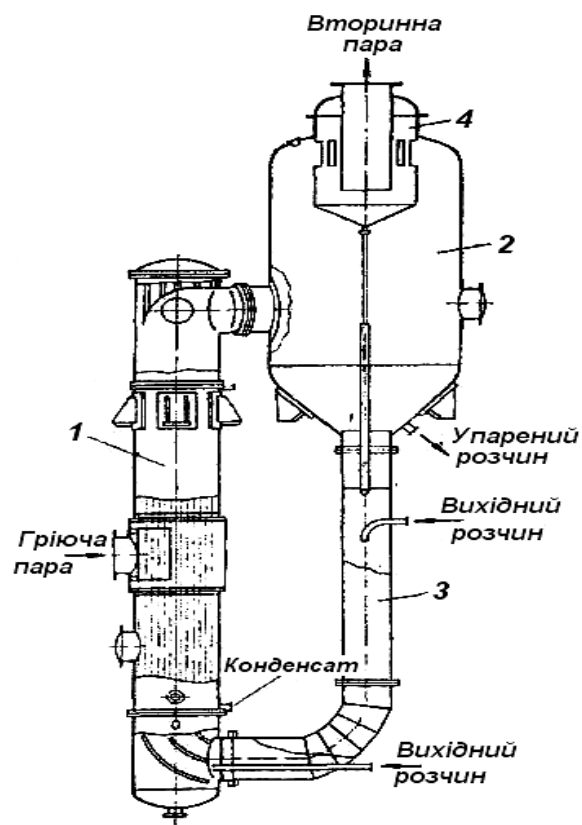


Рисунок 4.3 – Схема однокорпусного випарного апарата

Вихідні дані:

вихідна кількість розчину G_n , кг/с 1,389;
початкова концентрація x_n , % (мас.) 10;
кінцева концентрація x_k , % (мас.) 60;
тиск гріючої пари p , МПа 0,12;
температура розчину, що подається до випарного апарату t_1 , К, (°C) 293
(20).

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [19, с. 133-138].

З рівняння матеріального балансу знаходимо загальну кількість води випарованої у установці:

$$W = G_n \cdot \left(1 - \frac{x_n}{x_k}\right) = 1,389 \cdot \left(1 - \frac{10}{60}\right) = 1,157 \text{ кг/с}$$

Розрахунок концентрацій випареного розчину в корпусі:

$$G_k = G_n - W = 1,389 - 1,157 = 0,231 \text{ кг/с}$$

Визначення температури кипіння розчину

$$t_n = t_{e,n} + \Delta''' = 35,8 + 1 = 36,8 \text{ °C}$$

де $t_{e,n} = 35,8 \text{ °C}$ - вторинний пар, що поступає в установку

$\Delta''' = 1 \text{ °C}$ - гідравлічна депресія

Площа теплообміну

$$t_n = t_{e,n} + \Delta''' = 35,8 + 1 = 36,8 \text{ °C}$$

Для обрання висоти труби $H=l$ необхідно орієнтовно визначити площу поверхні теплопередачі випарного апарату $F_{op.}$, вибрати параметри апарату за ГОСТ 11987-81. Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулою:

$$F_{OB} = \frac{W \cdot r}{q} = \frac{1,157 \cdot 2409,4}{30000} = 92,955 \text{ м}^2$$

де q — орієнтовне значення питомого теплового потоку для апаратів з природною циркуляцією, $q=30000 \text{ Вт/м}^2$.

Приймаємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат з площею поверхні теплопередачі $F=100 \text{ м}^2$, довжиною труб $H=4 \text{ м}$, діаметром труб 38х2мм.

Оптимальний рівень суміші в трубах:

$$h_{omn} = H \cdot [0.26 + 0.0014 \cdot (\rho_p - \rho_e)] =$$

$$= 4 \cdot [0.26 + 0.0014 \cdot (1196 - 972)] = 3.442 \text{ м}$$

де $\rho_p = 1196 \text{ кг/м}^3$ - густина розчину при кипінні;

$\rho_e = 972 \text{ кг/м}^3$ - густина води при кипінні.

Збільшення тиску в середньому шарі суміші:

$$\Delta\rho_z = \rho_p \cdot g \cdot \frac{h_{omn}}{2} = 1196 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,442}{2} = 0,02 \text{ МПа}$$

Тиск в середньому шарі кип'ятильних труб:

$$\Delta\rho_{cp} = \rho_n + \Delta\rho_z = 0,062 + 0,02 = 0,082 \text{ МПа}$$

Гідростатична депресія дорівнює:

$$\Delta'' = t + t_n = 93,64 - 36,8 = 56,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температурна депресія:

$$\Delta' = 16,2 \cdot (273 + t)^2 \cdot \frac{\Delta_{амм}}{r_1} = 6,2 \cdot (273 + 93,64)^2 \cdot \frac{45}{2276,4 \cdot 10^3} = 43,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура кипіння речовини:

$$t_p = t_{e,n} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 35,8 + 43,05 + 56,84 + 1 = 136,69 \text{ }^\circ\text{C}$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{кор} = T - t_p = 160 - 136,69 = 23,311 \text{ }^\circ\text{C}$$

Витрата гріючої пари:

$$G_{z,n} = \frac{W \cdot i + G_k \cdot c_k \cdot t_p - G_n \cdot c_n \cdot 60 \cdot 4}{0,95 \cdot r_{z,n}} =$$

$$= \frac{1,157 \cdot 2564,6 \cdot 10^3 + 0,231 \cdot 3920 \cdot 136,69 - 1,389 \cdot 1340 \cdot 60 \cdot 4}{0,95 \cdot 2382 \cdot 10^3} = 1,169 \text{ кг/с}$$

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Теплова нагрузка кріючої пари:

$$Q = G_{e,n} \cdot r_{e,n} = 1,169 \cdot 2382 \cdot 10^3 = 2,785 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Число труб гріючої пари:

$$n = \frac{F_{OB}}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{100}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 209,414 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 210$.

Ступінь стікання конденсату по зовнішній трубі:

$$\Gamma = \frac{G_{e,n}}{\pi \cdot d \cdot n} = \frac{1,169}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 210} = 0,047 \text{ кг / (м} \cdot \text{с)}$$

Критерій Рейднольдса для плівки конденсату:

$$\text{Re}_{nl} = \frac{L \cdot \Gamma}{\mu} = \frac{4 \cdot 0,047}{0,1956 \cdot 10^{-3}} = 956,354$$

Приведена товщина плівки:

$$\delta_{np} = \frac{\mu^2}{\rho^2 \cdot g} = \frac{(0,1956 \cdot 10^{-3})^2}{942,4^2 \cdot 9,81} = 1,829 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$\text{Re}_{nl} > 400$$

Критерій Нусельта для плівки конденсату:

$$\text{Nu}_{nl} = \frac{\text{Re}_{nl}}{\left[\frac{6,25 \cdot (\text{Re}_{nl} - 400)}{\text{Pr}^{0,33}} + 1580 \right]} = \frac{956,4}{\left[\frac{6,25 \cdot (956,4 - 400)}{1,2582^{0,33}} + 1580 \right]} = 0,199$$

Коефіцієнт тепловіддачі від конденсуючого водяного пара до стінки труб:

$$\alpha_1 = \text{Nu}_{nl} \cdot \frac{\lambda_g}{\mu} = 0,199 \cdot \frac{0,677}{0,19561 \cdot 10^{-3}} = 689,112 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труб до розчину:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{780 \cdot \lambda_p^{1,3} \cdot \rho_{poz}^{0,5} \cdot \rho_n^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} \cdot r_{cp}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_k^{0,3} \cdot \mu_p^{0,3}} = \\ &= \frac{780 \cdot 0,555^{1,3} \cdot 1157^{0,5} \cdot 0,051^{0,06}}{(77,7 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot (2403,25 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot (3,92 \cdot 10^3)^{0,3} \cdot (0,65 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 5,955 \cdot q^{0,4} \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)} \\ \alpha_2 &= 5,955 \cdot q^{0,4} = 5,955 \cdot (22,3 \cdot 10^3)^{0,4} = 310,5 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)} \end{aligned}$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_1 = \frac{q_1}{\Delta t_{\text{пол}}} = \frac{22,45 \cdot 10^3}{23,311} = 963,047 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Площа поверхні теплообміну:

$$F_{\text{мл}} = \frac{Q}{\Delta t_{\text{пол}} \cdot K_1} = \frac{2,785 \cdot 10^6}{23,311 \cdot 963,047} = 124,049 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Приймаємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат з площею поверхні теплопередачі $F=125 \text{ м}^2$

Площа поверхні теплообміну вибраного випарного апарату $F_{\text{мл}}=125 \text{ м}^2$, що значно більше орієнтовно вибраної поверхні $F_{\text{ОВ}}=100 \text{ м}^2$. Але необхідності вносити корективи в розрахунок немає, оскільки висота труб залишилася незмінною.

Висновок: на основі проведених розрахунків визначено параметри випарного апарата.

4.2.2 Конструктивний розрахунок

Мета розрахунку: визначення параметрів розміщення труб в трубній решітці.

Розрахункова схема до конструктивного розрахунку наведена на рисунку 4.4

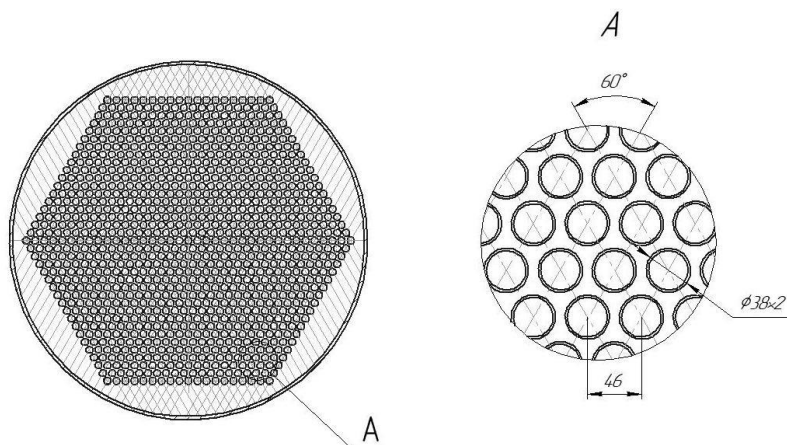


Рисунок 4.4 – Схема до розрахунку конструкції трубної решітки

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Вихідні дані:

площа поверхні теплообміну F , м² 125;
діаметр труби d_3 , м 0,038;
довжина труб l , м 4.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [20, с. 154-155].

Кількість труб та їх розміщення:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_3 \cdot l} = \frac{125}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 262 \text{ шт.},$$

Для розміщення пучка труб по вершинам шестикутників, зв'язок між загальною кількістю труб n , кількістю труб на діагоналі b і на стороні a найбільшого шестикутника виражається наступним співвідношенням:

$$n = 3a(a-1) + 1, a = 9,$$

$$b = 2a - 1 = 2 \cdot 9 - 1 = 17$$

Крок:

$$t = 1,2 \cdot d_3 = 1,2 \cdot 0,038 = 0,052 \text{ м.}$$

Внутрішній діаметр корпусу апарата:

$$D_o = t \cdot (b - 1) + 4d_3 = 0,052 \cdot (17 - 1) + 4 \cdot 0,038 = 0,882 \text{ м.}$$

Висновок: на основі проведених розрахунків приймаємо діаметр корпусу 1 м., кількість труб на головній діагоналі 17 шт., на стороні шестикутника 9 шт., крок – 52 мм.

4.2.3 Розрахунок штуцерів

Мета розрахунку: визначення розмірів штуцерів, в залежності від швидкості руху теплоносіїв та їх масових витрат.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.5.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

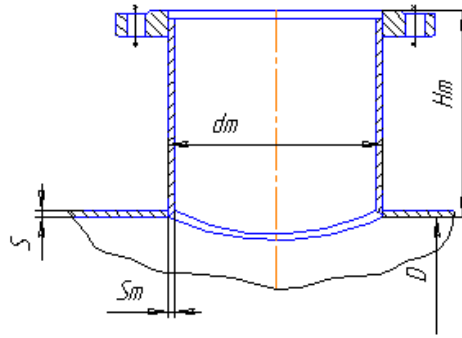


Рисунок 4.5 – Розрахунок штуцерів

Вихідні дані:

витрати гріючої пари $G_{г.п.}$, кг/с	1,169;
вхідна кількість розчину G_n , кг/с	1,389;
вихідна кількість розчину $G_{упр}$, кг/с	0,231;
кількість вторинної пари W , кг/с	1,157;
кількість конденсату G_k , кг/с	1,169.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [19, с. 25-26].

Згідно рекомендацій наведених [19] приймаємо рекомендовану швидкість руху розчину на вході $\omega_n=0,7$ м/с, гріючої пари $\omega_{г.п.}=20$ м/с, вторинної пари $\omega_{в.т.}=18$ м/с, конденсату $\omega_k=0,6$ м/с, упареного розчину $\omega_{упр}=1$ м/с

Вхід розчину:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_p \cdot \omega_p}} = \sqrt{\frac{41,389}{3,14 \cdot 11969 \cdot 0,7}} = 0,046 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,57 \text{ м, } d_{вн} = 0,045 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_p = \frac{4 \cdot G_n}{\pi \cdot \rho_p \cdot d_{вн}^2} = \frac{41,389}{3,14 \cdot 11960 \cdot 0,045^2} = 0,73 \text{ м/с}$$

Вихід розчину:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$d_{ynp} = \sqrt{\frac{4 G_{ynp}}{\pi \cdot \rho_{ynp} \cdot \omega_{ynp}}} = \sqrt{\frac{40,231}{3,14 \cdot 942,41}} = 0,086 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,108 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,11 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{ynp} = \frac{4 G_{ynp}}{\pi \cdot \rho_{ynp} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{40,231}{3,14 \cdot 942,40,015^2} = 6,572 \text{ м/с}$$

Вхід гріючої пари:

$$d_{\text{г.п.}} = \sqrt{\frac{4 G_{\text{г.п.}}}{\pi \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot \omega_{\text{г.п.}}}} = \sqrt{\frac{41,169}{1,169 \cdot 1,972 \cdot 20}} = 0,194 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,219 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,207 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\text{г.п.}} = \frac{4 G_{\text{г.п.}}}{\pi \cdot \rho_{\text{г.п.}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{41,169}{3,14 \cdot 1,972 \cdot 0,207^2} = 17,615 \text{ м/с}$$

Вихід конденсату:

$$d_{\kappa} = \sqrt{\frac{4 G_{\kappa}}{\pi \cdot \rho_{\kappa} \cdot \omega_{\kappa}}} = \sqrt{\frac{41,169}{3,14 \cdot 972 \cdot 0,6}} = 0,051 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$d_3 = 0,057 \text{ м, } d_{\text{вн}} = 0,051 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість:

$$\omega_{\kappa} = \frac{4 G_{\kappa}}{\pi \cdot \rho_{\kappa} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{41,169}{3,14 \cdot 972 \cdot 0,051^2} = 0,589 \text{ м/с}$$

Вихід вторинної пари, м:

$$d_{\text{вт}} = \sqrt{\frac{4 W}{\pi \cdot \rho_{\text{вт}} \cdot \omega_{\text{вт}}}} = \sqrt{\frac{41,157}{3,14 \cdot 1,972 \cdot 18}} = 0,204 \text{ м.}$$

Приймаємо:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_3 = 0,219 \text{ м}, d_{\text{вн}} = 0,207 \text{ м}.$$

Дійсна швидкість, м/с:

$$\omega_{\text{вн}} = \frac{4W}{\pi \cdot \rho_{\text{вн}} \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{41,157}{3,141,972 \cdot 0,207^2} = 17,434 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний штуцер для входу розчину за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,1;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,108;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,004;
висота штуцера, H_m , м	0,155.

Приймаємо стандартний штуцер для виходу розчину за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,02;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,025;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,003;
висота штуцера, H_m , м	0,12.

Приймаємо стандартний штуцер для входу гріючої та виходу вторинної гріючої пари за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,2;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,219;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,006;
висота штуцера, H_m , м	0,16.

Приймаємо стандартний штуцер для виходу конденсату за ОСТ 26-1403-76:

умовний діаметр, D_y , м	0,05;
зовнішній діаметр патрубку, d_m , м	0,057;
товщина стінки патрубку, S_m , м	0,004;
висота штуцера, H_m , м	0,155.

Висновок: в результаті проведеного розрахунку були визначені діаметри патрубків штуцерів і визначені дійсні швидкості руху теплоносіїв.

4.2.4 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої внутрішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.6.

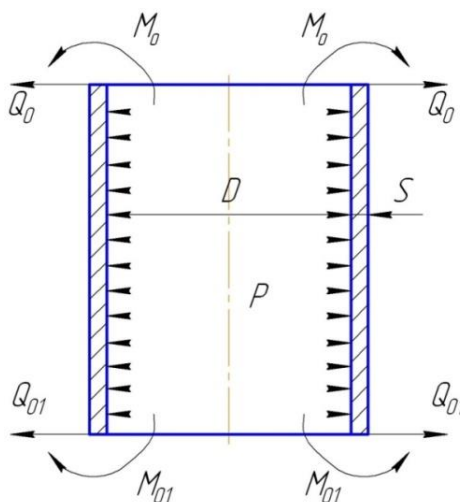


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім тиском

Вихідні дані:

розрахункова температура у міжтрубному просторі $t_k, ^\circ\text{C}$, 160;

тиск, у міжтрубному просторі p_{MT} , МПа 0,06;

діаметр D_3 , м 1;

матеріал Сталь 12X18H10T.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [21, с. 7 – 10].

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t=160^\circ\text{C}$ допустиме напруження[21]:

$$[\sigma] = 167,84 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва φ_p .

$$\varphi_p = 0,9$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки S_R , м.

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,06 \cdot 1}{2 \cdot 167,84 \cdot 0,9 - 0,06} = 1,986 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії C_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = 1,986 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} = 4,199 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Граничне відхилення по товщині прокату листового прокату залежно від товщини приймається за [22, с.266-267].

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 0,8 \cdot 10^{-3} + 4,8 \cdot 10^{-3} + 0 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S :

$$S = S_R + c = 1,986 \cdot 10^{-4} + 4,8 \cdot 10^{-3} = 4,999 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск $[p]$:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot [167,84] \cdot 0,9 \cdot (8 - 4,8)}{1000 + 6 - 4,8} = 0,964 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p \leq [p], \quad 0,06 \text{ МПа} \leq 0,964 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,006 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,008 м обичайки забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.5 Розрахунок товщини циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією зовнішнього тиску.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.7.

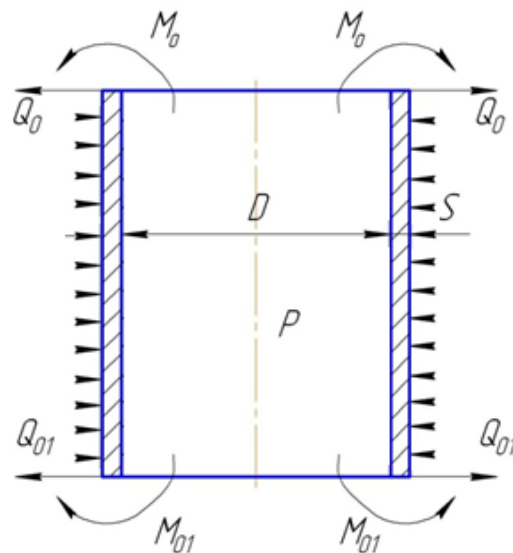


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема циліндричної обичайки, навантаженої зовнішнім тиском

Вихідні дані:

діаметр D , м	1;
висота H , м	4;
тиск p_R , МПа	0,12;
допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	167,84.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [21, с. 7-9].

Визначення допоміжних коефіцієнтів:

$$K_1 = \frac{n_y \cdot P}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E} = 0,3848 \quad (4.1)$$

де $n_y = 1,5$ - коефіцієнт запасу міцності, $E = 1,95$ - модуль пружності.

$$K_3 = \frac{H}{D} = 4. \quad (4.2)$$

Відповідно до номограми наведеної [20, с. 8], визначаємо K_2 :

$$K_2 = 0,3.$$

Товщина стінки:

$$S_p = \max \left\{ K_2 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\} = 0,003 \text{ м.} \quad (4.3)$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки у першому наближенні S :

$$S = S_R + c_1 = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.4)$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0 \text{ м.}$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.5)$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S :

$$S = S_R + c = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (4.6)$$

Приймаємо $S = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимий тиск із умови міцності

$$[P]_{\Pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + S - c} = 1,703 \text{ МПа.} \quad (4.7)$$

Допустимий тиск з умови стійкості в межах пружності

$$[P]_E = \frac{20,810^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L} \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^{2,5} = 0,126 \text{ МПа.} \quad (4.8)$$

де $L = H$ - приведена довжина, визначено з літератури [20, с. 14].

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} \right\} = 1 \quad (4.9)$$

Допустимий зовнішній тиск:

$$[P] = \frac{[P]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\Pi}}{[P]_E} \right)^2}} = 0,1252 \text{ МПа.} \quad (4.10)$$

Умова міцності та стійкості:

$$[P] \geq P,$$

$$0,1252 \text{ МПа} \geq 0,12 \text{ МПа.}$$

Висновок: попередньо прийнята товщина стінки не забезпечує міцність та стійкість конструкції, орієнтуючись на розрахунок під дією зовнішнього тиску товщину обичайки приймаємо 6 мм. До методики розрахунку було створено відповідну програму автоматизованого розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки під дією зовнішнього тиску, складено блок – схему, таблицю ідентифікаторів, зазначені результати програмного розрахунку (таблиця Б).

4.2.6 Розрахунок еліптичного днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичної кришки і перевірка її на міцність.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.8.

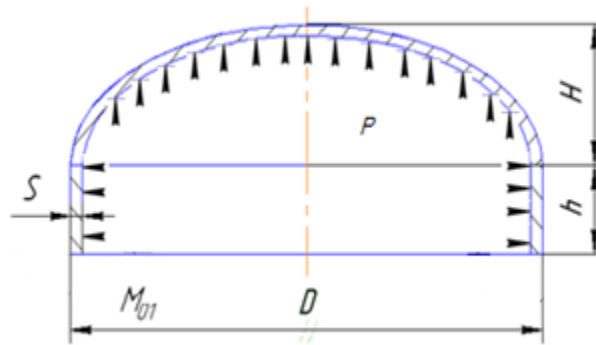


Рисунок 4.8 – Схема до розрахунку еліптичного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата D , м 1;
тиск p_R , МПа 0,06;
допустиме напруження $[\sigma]$, МПа 167,84.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [21, с. 168-173].

Внутрішній радіус кривизни у вершині днища R_e :

$$R_e = \frac{D^2}{4 \cdot h_b} = \frac{1^2}{4 \cdot 0,25} = 1 \text{ м},$$

де

$$h_b = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1 = 0,25 \text{ м}.$$

Допустиме напруження матеріалу кришки за розрахункової температури $[\sigma]$, за розрахункової температури $t=160^\circ$ [21].

$$[\sigma] = 167,84 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва ϕ_p .

$$\phi_p = 0,9.$$

Розрахункова товщина стінки днища S_R .

$$S_R = \frac{p \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} = \frac{0,06 \cdot 1}{2 \cdot 167,84 \cdot 0,9 - 0,06} = 0,199 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки кришки у першому наближенні:

$$S = S_R + c_1 = (0,199 + 4) \cdot 10^{-3} = 4,199 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 0,5 + 0) \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки днища:

$$S = S_R + c = (0,199 + 4,5) \cdot 10^{-3} = 4,699 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 0,006 \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 167,84 \cdot 0,9 \cdot (6 - 4,5) \cdot 10^{-3}}{1 + 0,5 \cdot (6 - 4,5) \cdot 10^{-3}} = 0,453 \text{ МПа.}$$

17. Перевірка умови міцності

$$[p] \geq p,$$

$$0,453 \text{ МПа} \geq 0,06 \text{ МПа}.$$

Висновок: умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,006 м забезпечує міцність кришки апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.7 Розрахунок кінцевого днища

Метою розрахунку є визначення товщини стінки кінцевого днища і перевірка його на міцність.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.9.

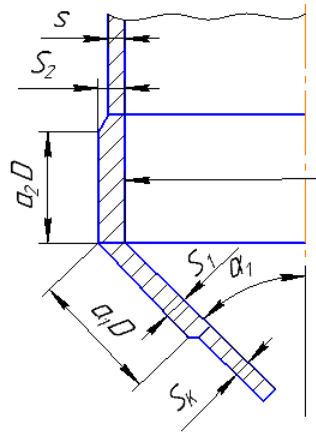


Рисунок 4.9 – Схема до розрахунку конічного днища

Вихідні дані:

діаметр апарата D , м	1;
тиск p_R , МПа	0,06;
допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	167,84.
товщина стінки S , мм	6;
діаметр отвору d , мм	88;
додаток до розрахункової довжини c , мм	4,5.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [21, с. 40-41].

Розрахунок довжини перехідних частин:

$$a_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} \cdot (S - c)} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos 60^\circ} \cdot (0,006 - 0,0045)} = 0,034 \text{ м.}$$

Розрахунок діаметру гладкої конічної обичайки:

$$\begin{aligned} D_K &= D - 2 \cdot [d \cdot (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) + 0,7 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha_1] = \\ &= 1 - 2 \cdot [0,088 \cdot (\cos 0^\circ - \cos 60^\circ) + 0,7 \cdot 0,034 \cdot \sin 60^\circ] = 0,87 \text{ м.} \end{aligned}$$

Розрахунок товщини стінки;

$$S_{KR} = \frac{P \cdot D_K}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1} = \frac{0,06 \cdot 0,87}{2 \cdot 167,84 \cdot 0,9 - 0,06} \cdot \frac{1}{\cos 60^\circ} = 0,346 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії c_1 :

$$c_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки у першому наближенні:

$$S_K = S_{KR} + c_1 = (0,346 + 4) \cdot 10^{-3} = 4,346 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску c_2 :

$$c_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини c_3 :

$$c_3 = 0.$$

Сума додатків розрахункової товщини c :

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = (4 + 0,5 + 0) \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Дійсна товщина стінки днища:

$$S = S_K + c = (0,346 + 4,5) \cdot 10^{-3} = 4,515 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо $S = 0,006 \text{ м.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{\frac{D}{\cos \alpha_1} + S - C} = \frac{2 \cdot 167,84 \cdot 0,9 \cdot (6 - 4,5) \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{\cos 60^\circ} + (6 - 4,5) \cdot 10^{-3}} = 0,208 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності

$$[p] \geq p$$

$$0,208 \text{ МПа} \geq 0,06 \text{ МПа}$$

Висновок: Таким чином, умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінки 0,006 м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

4.2.8 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку: розрахувати фланцеве з'єднання, що складається з двох плоских приварних фланців, зробити перевірку міцності прокладки та болтів, а також перевірити на міцність та герметичність фланцеве з'єднання.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Розрахункова схема фланцевого з'єднання показана на рисунку 4.10.

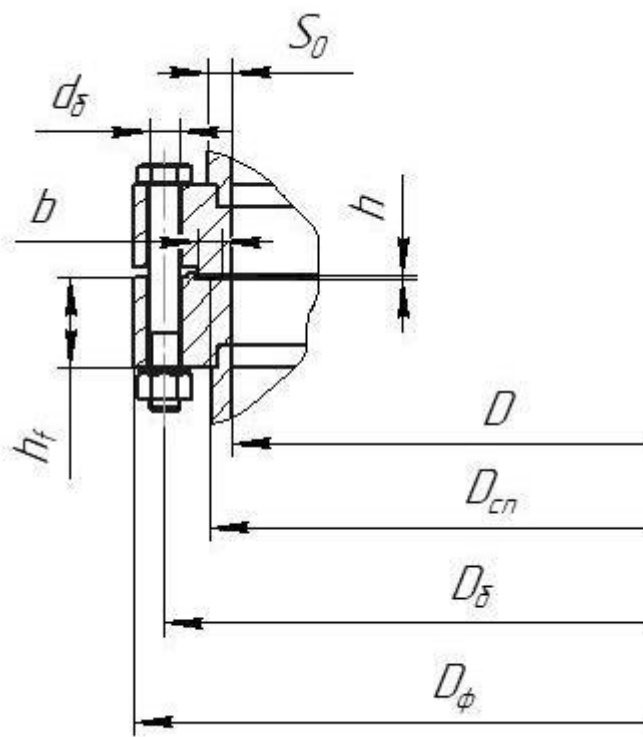


Рисунок 4.10 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

внутрішній тиск P , МПа	0,06;
температура середовища t , °С	160;
внутрішній діаметр фланцевого з'єднання D , м	1;
товщина стінки апарату S_0 , м	0,006;
товщина прокладки h , м	0,002;
ширина прокладки b , м	0,02.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [23, с. 62-68].

Розрахунок допоміжних величин.

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо $\beta=1$.

Середній діаметр прокладки:

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$D_{cn} = D_n - b = 1,04 - 0,02 = 1,02 \text{ м},$$

де D_n – зовнішній діаметр прокладки, $D_n = 1,04$ м;

b – ширина прокладки за таблицею 2 [23], $b = 0,02$ м.

Ефективна ширина прокладки:

$$\text{при } b > 0,015 \text{ м } b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,02} = 8,485 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_\phi = \frac{D_\phi}{D} = \frac{1,145}{1} = 1,145,$$

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,06}{\sqrt{1 \cdot 0,006}} = 0,775 \text{ м},$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,06}{\sqrt{1 \cdot 0,006}} = 0,775 \text{ м},$$

де $h_{\phi 1}$ та $h_{\phi 2}$ – висота першого та другого фланців, $h_{\phi 1} = h_{\phi 2} = 0,06$ м.

Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg(K_\phi) = 1,28 \cdot \lg(1,145) = 0,075 \text{ м},$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_\phi + 1}{K_\phi - 1} = \frac{1,145 + 1}{1,145 - 1} = 14,793 \text{ м}.$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 приймаємо $\psi_3 = 1$.

Геометричні параметри фланців:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,06}{0,006} = 10,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,06}{0,006} = 10.$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(K_{\phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,145^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \log(1,145)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,145^2) \cdot (1,145 - 1)} = 1,859.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\begin{aligned} \omega_{\phi 1} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,0775 \cdot (1 + 0,075 \cdot 10^2)]^{-1} = 0,144, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{\phi 2} &= [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = \\ &= [1 + 0,9 \cdot 0,0775 \cdot (1 + 0,075 \cdot 10^2)]^{-1} = 0,144. \end{aligned}$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} = \frac{[1 - 0,144 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,775)] \cdot 14,793}{0,06^3 \cdot 1,95 \cdot 10^5} = 0,266 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2},$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} = \frac{[1 - 0,144 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,775)] \cdot 14,793}{0,06^3 \cdot 1,95 \cdot 10^5} = 0,266 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}^2},$$

де $E_{\phi 1}^t$ та $E_{\phi 2}^t$ — модулі пружності матеріалу фланців, $E_{\phi 1}^t = E_{\phi 2}^t = 1,95 \cdot 10^5$ МПа.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,06 + 0,06 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,128 \text{ м},$$

де d_B – діаметр болта, $d_B = 0,02$ м.

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

$$y_{II} = \frac{h}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,002}{3,141,02 \cdot 0,02 \cdot 195} = 6,427 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МПа}},$$

де E_n – модуль пружності прокладки, $E_n = 195$ МПа.

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_B = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,023^2 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де d_o – діаметр отвору, $d_o = 0,023$ м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_B = \frac{L_B}{E'_B \cdot f_B \cdot z_B} = \frac{0,128}{1,92 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 68} = 6,427 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МПа}},$$

де E'_B – модуль пружності болта, $E'_B = 1,92 \cdot 10^5$ МПа;

z_B – кількість болтів у фланцевому з'єднанні, $z_B = 68$.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} A_{\phi} &= [y_{II} + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn})^2]^{-1} = \\ &= [1,610 \cdot 10^{-4} + 6,427 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,266 + 0,266) \cdot (1,076 - 1,02)^2]^{-1} = \\ &= 1561 \text{ м/МПа}. \end{aligned}$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,266 \cdot (1,076 - 1 - 0,006) = 0,019 \text{ 1/МПа},$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_B - D - S_o) = 0,266 \cdot (1,076 - 1 - 0,006) = 0,019 \text{ 1/МН.}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 1561 \cdot 6,427 \cdot 10^{-5} = 0,1.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot [y_B + 0,25 \cdot (B_{\phi 1} + B_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{\text{сп}})] = 1561 \cdot [6,427 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,019 + 0,019) \cdot (1,076 - 1,02)] = 0,913,$$

де D_B – діаметр болтового кола, $D_B = 1,076 \text{ м.}$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

$$t_{\phi} = t_{\phi} \cdot 0,97 = 155,2^{\circ}\text{C}$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,02^2 \cdot 0,06 = 0,049 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки у робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,02 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,06 = 8,157 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} Q_{t\phi} &= \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_B^t \cdot t_B) = \\ &= 0,1 \cdot 44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,95 \cdot 10^5 \cdot (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 160 - 12,2 \cdot 10^{-6} \cdot 155,2) = \\ &= 0,172 \text{ МН.} \end{aligned}$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,02 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,544 \text{ МН},$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_{\phi} + P) + R_n + \frac{4M}{D_{\text{сш}}} = 0,789 \cdot (0,049 + 0) + 8,157 + \frac{40}{1,02} = 0,053 \text{ МН}.$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 130 \cdot 44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,538 \text{ МН}.$$

Розрахункове навантаження на болти $p \leq 0,6$ МПа, тому:

$$P_{Б1} = \max\{P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}\} = \max\{0,544; 0,053; 0,538\} = 0,544 \text{ МН}.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{сш}} \cdot b} = \frac{0,544}{3,141,02 \cdot 0,02} = 8,485 \leq [q] = 130 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

$$\begin{aligned} P_{Б2} &= P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_{\phi} + P) + Q_{t\phi} = \\ &= 0,544 + (1 - 0,789) \cdot (0,049 + 0) + 0,172 = 0,72 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\phi} = \max\{P_{Б1}; P_{Б2}\} = \{0,544; 0,72\} = 0,72 \text{ МН}.$$

Напруження в болтах за умов монтажу:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,544}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 52,593 \text{ МПа}.$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{Б2}}{z_B \cdot f_B} = \frac{0,72}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 69,68 \text{ МПа}.$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Бф}}{z_B} \cdot d_B = 0,01 \cdot \frac{0,72}{44} \cdot 0,02 = 3,275 \cdot 10^{-6} \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{3,272 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 0,023^3} = 1,346 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{52,593^2 + 3 \cdot 1,346^2} = 52,644 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{69,678^2 + 3 \cdot 1,346^2} = 69,678 \text{ МПа.}$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 52,644 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 130 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_B^t = 69,678 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 69,678 \text{ МПа.}$$

Умови міцності виконуються.

Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу:

$$M_{01ф} = 0,5 \cdot P_{Бф} \cdot (D_B - D_{сп}) = 0,5 \cdot 0,544 \cdot (1,076 - 1,02) = 0,015 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot \left[P_{B2} \cdot (D_B - D_{cn}) + Q_o \cdot (D_{cn} - D - S_o) \right] \cdot \frac{[\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot \left[0,72 \cdot (1,076_B - 1,02) + 0,049 \cdot (1,02 - 1 - 0,006) \right] \cdot \frac{184}{167,84} = 0,022 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} = \{0,015; 0,022\} = 0,022 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Максимальні напруження в перерізі S_o фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{0\phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi1}}{D^* \cdot (S_o - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,859 \cdot 0,022 \cdot 0,144}{1 \cdot (0,006 - 0,0045)^2} = 195,426 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{0\phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi2}}{D^* \cdot (S_o - c)^2} = 1 \cdot \frac{1,859 \cdot 0,022 \cdot 0,144}{1 \cdot (0,006 - 0,0045)^2} = 195,426 \text{ МПа,}$$

де $D^* = D = 1 \text{ м}$, якщо $D = 1 \geq 20 \cdot S_o = 20 \cdot 0,006 = 0,12 \text{ м}$.

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{\kappa\phi1} = \frac{M_{0\phi} \cdot \left[1 - \omega_{\phi2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi2}) \right] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi2}^2} = \frac{0,022 \cdot \left[1 - 0,144 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,775) \right] \cdot 14,793}{1 \cdot 0,06^2} = 69,836 \text{ МПа.}$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p :

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{P \cdot D}{2(S_0 - c)} = \frac{0,061}{2(0,006 - 0,0045)} = 5,405 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{P \cdot D}{4(S_0 - c)} = \frac{0,061}{4(0,006 - 0,0045)} = 2,703 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} =$$

$$\sqrt{(195,426 + 2,703)^2 + 5,405^2 - (195,426 + 2,703) \cdot 5,405} = 195,482 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}} =$$

$$\sqrt{(195,426 + 2,703)^2 + 5,405^2 - (195,426 + 2,703) \cdot 5,405} = 195,482 \text{ МПа}.$$

Умова міцності:

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_0}] = [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 1,95 \cdot 10^5 = 584,67$$

МПа.

$$\sigma_{E\phi 1} = 195,482 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \cdot \varphi = 584,67 \cdot 0,9 = 526,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = 195,482 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 2}^{S_0}] \cdot \varphi = 584,67 \cdot 0,9 = 526,2 \text{ МПа}.$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

$$\text{При } D = 1 \leq 2 \text{ м } [\theta] = 0,009 \text{ рад}$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} \cdot D}{E_{\phi 1}^t \cdot h_{\phi 1}} = \frac{69,8361}{1,95 \cdot 0,06} = 0,006 < [\theta] = 0,009,$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} \cdot D}{E_{\phi 2}^t \cdot h_{\phi 2}} = \frac{69,8361}{1,95 \cdot 0,06} = 0,006 < [\theta] = 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: В результаті розрахунку був прийнятий плоский приварний фланець для діаметра гріючої камери $D=1$ м, тиском $P=0,06$ МПа. Умови міцності та герметичності фланцевого з'єднання виконуються.

4.2.9 Розрахунок несучої спроможності вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап

Мета: перевірити несучу спроможність обичайки під дією опорних навантажень.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.11.

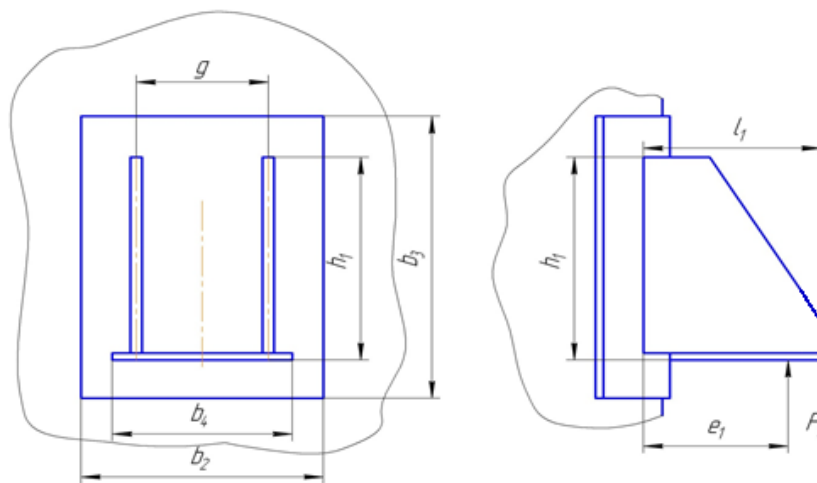


Рисунок 4.11 – Розрахункова схема

Вихідні данні

виліт опори l_1 , м	0,48;
товщина стінки апарату S , м	0,006;
висота опори h_1 , м	0,695;
діаметр апарату внутрішній D , м	1;

число опор z , шт	4;
допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	167,84;
ширина стійки b_4 , м	0,455;
робочий тиск P , МПа	0,06;
вага G , МН	0,36.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [24, с. 69 – 79].

Розрахунковий діаметр обичайки:

$$D_R = D = 1 \text{ м.}$$

Умова застосування формул:

$$\frac{(S-c)}{D_R} \leq 0,05$$

$$\frac{(0,006-0,0048)}{1} = 0,0012 \leq 0,05$$

де c – прибавка до товщини листа.

Умова виконується.

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом:

$$e_1 = 5 \cdot l_1 / 6 = 5 \cdot 0,48 / 6 = 0,4 \text{ м.}$$

Загальні мембранні напруження:

$$\sigma_{my} = \frac{P \cdot D_R}{2 \cdot (S - C)} = \frac{0,06 \cdot 1}{2 \cdot (0,006 - 0,0048)} = 20,50 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт $K_2=1,2$ – для робочих умов

Коефіцієнт міцності зварного шва:

Якщо $f > \sqrt{D_R \cdot S}$ то $\phi = 1$, інакше ϕ - за умовою задачі.

$$\sqrt{D_R \cdot S} = \sqrt{1 \cdot 0,006} = 0,077 < 0,1$$

отже $\phi = 0,9$.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи до циліндричної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження у циліндричних обичайках для $\phi = 0,9$:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = 20,50 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \phi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{20,50}{167,84 \cdot 0,9} = 0,132.$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

Якщо $v_2 \geq 0, v_1 = 0,3$.

Коефіцієнт K_1

$$K_1 = \frac{1+3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 (1-v_2^2)}{(1+3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) = \frac{1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,132}{3 \cdot 0,3^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,3^2 (1-0,132^2)}{(1+3 \cdot 0,3 \cdot 0,132)^2} + 1} - 1 \right) = 1,156.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,156 \cdot 167,84 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 242,5 \text{ МПа.}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки:

$$u = \ln \left[\frac{D_R}{2 \cdot (S - C)} \right] = \ln \left[\frac{1}{2 \cdot (0,006 - 0,0048)} \right] = 6,032,$$

$$y = \ln \left(\frac{h_1}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,695}{1} \right) = -0,364, \quad y_1 = \ln \left(\frac{b_4}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,455}{1} \right) = -0,787.$$

Коефіцієнт K_7 :

$$K_7 = f_1(u, y)$$

$$\ln z = (-5,964 - 11,395 \cdot u - 18,987 \cdot y - 2,413 \cdot u^2 - 7,286 \cdot uy - 2,042 \cdot y^2 + 0,1322 \cdot u^3 + 0,483 \cdot u^2 \times y + 0,8469 \cdot u \cdot y^2 + 1,428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2}.$$

$$K_7 = z = 0,32.$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки:

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S)} = \frac{0,36}{2} + \frac{0,018}{1 + 2 \cdot (0,4 + 0,006)} = 0,189 \text{ МН},$$

де $M = e \cdot D_R \cdot G = 0,05 \cdot 0,36 = 0,018 \text{ Нм}$, e – ексцентриситет центра мас.

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки:

Якщо $\frac{g}{h_1} = \frac{0,384}{0,695} = 0,418 < 0,5$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1} = \frac{242,5 \cdot 0,695 \cdot (0,006 - 0,0048)^2}{0,32 \cdot 0,4} = 0,019 \text{ МН}.$$

Умова несучої спроможності опорного вузла:

$$F_1 \leq [F_1].$$

$$0,189 > 0,019$$

Умова міцності несучої спроможності не виконується, потрібно використати підкладний лист.

Обираємо підкладний лист з геометричними розмірами:

$$b_2 = 0,6 \text{ м}, \quad b_3 = 0,97 \text{ м}, \quad S_2 = 0,02 \text{ м}.$$

Умови застосування розрахункових формул при наявності підкладного листа:

$$\frac{S - c}{D_R} \leq 0,5, \quad \frac{0,006 - 0,0048}{1} = 0,001 \leq 0,5,$$

$$g \geq 0,2 \cdot h_1,$$

$$0,384 \geq 0,2 \cdot 0,695 = 0,139,$$

$$b_2 \geq 0,6 \cdot b_3,$$

$$0,6 \geq 0,6 \cdot 0,97 = 0,582,$$

$$b_3 \leq 1,5 \cdot h_1,$$

$$0,97 \leq 1,5 \cdot 0,695 = 1,042,$$

$$S_2 \geq S,$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$0,02 \geq 0,006.$$

Умови застосування розрахункових формул виконуються.

Загальні мембранні напруження опор в обичайці:

$$\sigma_m = \sigma_{my} = 20,50 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт, який враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \cdot \phi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{20,50}{167,84 \cdot 0,9} = 0,132.$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

Якщо $v_2 \geq 0, v_1 = 0,4$.

Коефіцієнт K_I

$$K_I = \frac{1 + 3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 (1 - v_2^2)}{(1 + 3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,132}{3 \cdot 0,4^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot 0,4^2 (1 - 0,132^2)}{(1 + 3 \cdot 0,4 \cdot 0,132)^2} + 1} - 1 \right) = 1,045.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи:

$$[\sigma_i] = K_I \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,045 \cdot 167,84 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 219,3 \text{ МПа.}$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки з підкладним листом:

$$y_2 = \ln \left(\frac{b_3}{D_R} \right) = \ln \left(\frac{0,97}{1} \right) = -0,03,$$

Коефіцієнт K_8 , визначається як:

$$K_8 = \min \{ f_1(u, y); f(u, y_2) \} = \min \{ 0,67; 0,254 \} = 0,254,$$

де $f_2(u, y_2)$:

$$K_8 = f_2(u, y_2)$$

$$\ln(v) = (-49,919 - 39,119 \cdot u - 107,01 \cdot y_2 - 1,694 \cdot u^2 - 11,920 \cdot u \cdot y_2 -$$

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$-39,276 \cdot y_2 + 0,237 \cdot u^3 + 1,608 \cdot u^2 \cdot y_2 + 2,716 \cdot u \cdot y_2 - 3,854 \cdot y_2^3) \cdot 10^{-2}$$

$$K_8 = 0,254.$$

Зусилля що діють на опорну лапу, яка приварена до обичайки з підкладним листом:

$$F_1 = \frac{G}{2} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S + S_2)} = \frac{0,36}{2} + \frac{0,018}{1 + 2 \cdot (0,4 + 0,006 + 0,020)} = 0,189 \text{ МН.}$$

Допустиме зусилля в вузлі приварки опорної лапи до обичайки з підкладним листом:

$$\text{Якщо } \frac{b_2}{b_3} = \frac{0,6}{0,97} = 0,619 > 0,5 \text{ то:}$$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot b_3 \cdot (S - C)^2}{K_8 \cdot (e_1 + S_2)} = \frac{219,3 \cdot 0,97 \cdot (0,006 - 0,0048)^2}{0,254 \cdot (0,4 + 0,02)} = 0,135 \text{ МН.}$$

Висновок: умова несучої спроможності виконується, за умови збільшення товщини обичайки до 0,006 м, та введення в конструкцію підкладного листа товщиною 0,02 м.

4.2.10 Розрахунок товщини теплової ізоляції

Мета: розрахувати товщину теплової ізоляції.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.12.

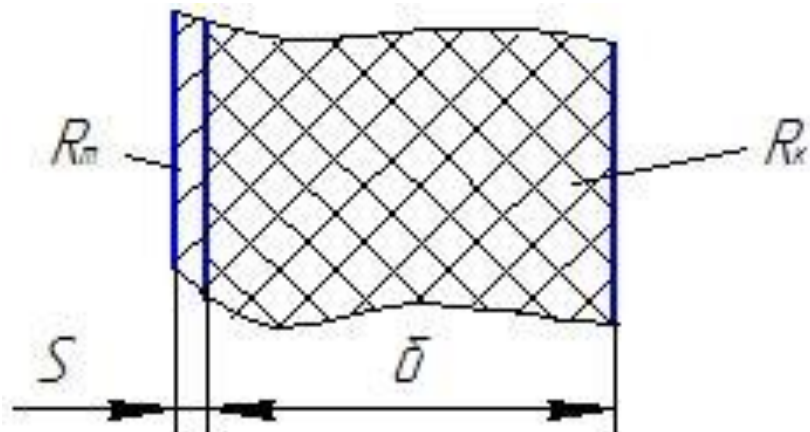


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема

Вихідні дані:

матеріал 12Х18Н10Т;
діаметр корпусу D , м 1;
температура розчину t_w , °С 160.

Товщину теплової ізоляції розраховуємо за методикою [25, с 87-88].

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить, °С:

влітку

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{160 + 40}{2} = 100 \text{ °С},$$

взимку

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ °С}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції
влітку

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 100 = 0,069 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

взимку

$$\lambda'_k = 0,049 + 0,0002 \cdot t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 80 = 0,065 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то розраховується тільки для літніх умов:

$$\lambda_k = 0,068 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q \cdot K_1} = \frac{160 - 20}{68 \cdot 1} = 2,059 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

де $q=68$ – нормована поверхня щільності теплового потоку, Вт/м²К.

Для території України $K_1 = 1,0$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 2,059 - \frac{1}{7} - 0 = 1,916 \text{ м}^2\text{К/Вт},$$

де $\alpha_e = 7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища, за умови що апарат встановлений в приміщенні.

Оскільки обичайка корпуса апарата виготовлена зі сталевого прокату, то термічний опір $R_m = 0$.

Товщина теплоізоляційного шару δ_k :

$$\delta_k = \lambda_k \cdot R_k = 0,069 \cdot 1,916 = 0,132 \text{ м.}$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізолювану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2.

Тоді за формулою товщина δ_1 :

$$\delta_1 = \delta_k \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_k}{d + 2 \cdot \delta_k} = 0,132 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,012 + 0,132}{1,012 + 2 \cdot 0,132} = 0,142 \text{ м.}$$

де $d = D + 2S = 1 + 2 \cdot 0,006 = 1,012 \text{ м}$, зовнішній діаметр.

Висновок: Відповідно до ГОСТ 21880-94 теплоізоляційного шару виконується з мінераловатного прошивного матеріалу марки 125, товщина становить 140 мм.

4.3 Визначення основних геометричних розмірів апарату зворотного осмосу

4.3.1 Наближений розрахунок поверхні мембрани

Метою розрахунку є визначення об'єму апарату, площі теплообміну, основних геометричних та конструктивних параметрів апарата.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.13.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

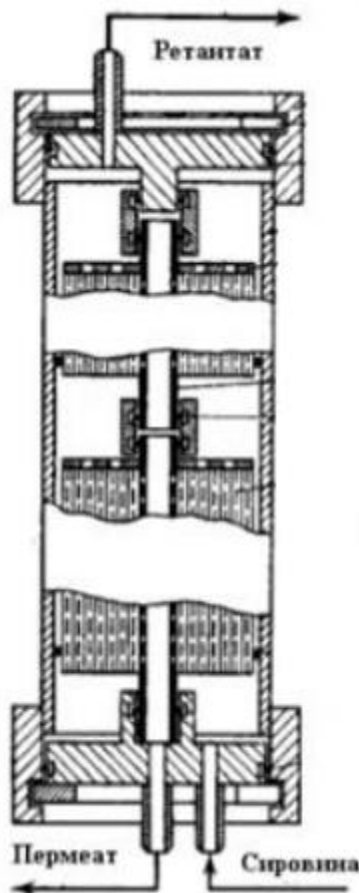


Рисунок 4.13 – Схема розрахунку апарату зворотного осмосу

Вихідні дані:

Масові витрати L_f , % мас 0,231;

початкова кількість розчину x_{1f} , % мас 0,1;

кінцева кількість розчину x_{1r} , % мас 0,6;

Перепад тиску на мембрані Δp , МПА 5;

Ступінь концентрування K , 2,8.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в[26, с. 25-26].

Нехтуючи в першому наближенні впливом концентраційної поляризації, розраховується проникність мембрани на вході та виході з апарату, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$G_f = G_0 \left(1 - \frac{\pi_{1f}}{\Delta p} \right) = 2,3 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,25}{5} \right) = 2,185 \cdot 10^{-3}$$

$$G_r = G_0 \left(1 - \frac{\pi_{1r}}{\Delta p} \right) = 2,3 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{0,84}{5} \right) = 1,914 \cdot 10^{-3}$$

де $G_0 = 2,3 \cdot 10^{-3}$ кг/(м²·с) – проникність мембрани за чистим розчинником

$$\pi_{1f} = 0,25 \text{ МПа}$$

$$\pi_{1r} = 0,84 \text{ МПа}.$$

Середнє значення проникненості, кг/(м²·с):

$$G = \frac{G_f + G_r}{2} = \frac{2,185 \cdot 10^{-3} + 1,914 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,049 \cdot 10^{-3}$$

Концентрація розчиненої речовини в пермеаті, % мас:

$$x_2 = x_{1f} \frac{1 - K^{\frac{\varphi-1}{\varphi}}}{1 - K^{\frac{-1}{\varphi}}} = 0,1 \cdot \frac{1 - 2,8^{\frac{0,98-1}{0,98}}}{1 - 2,8^{\frac{-1}{0,98}}} = 3,198 \cdot 10^{-3}$$

де $\varphi = 0,98$ - істинна селективність мембрани.

Витрата пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f (1 - K^{\frac{-1}{\varphi}}) = 0,231 \cdot (1 - 2,8^{\frac{-1}{0,98}}) = 0,15$$

Наближене значення площі поверхні мембрани, м²:

$$F = \frac{L_p}{G} = \frac{0,15}{2,049 \cdot 10^{-3}} = 73,301$$

Витрата ретантату, кг/с:

$$L_r = L_f - L_p = 0,231 - 0,15 = 0,081$$

4.3.2 Вибір апарата та його основних параметрів

При виборі розмірів апарата змінними можуть бути такі величини [4]:

- робоча висота модуля $l_m = 0,8$ м;
- кількість сумісно навитих елементів у модулі $n_e = 8$;

- кількість модулів у корпусі апарата $n_m = 4$;
- товщина сітки сепаратора $\delta_c = 0,5$ мм;
- товщина дренажного матеріалу $\delta_d = 0,4$ мм;
- товщина підкладного матеріалу $\delta_1 = 0,4$ мм;
- товщина мембрани $\delta_2 = 0,1$ мм;
- довжина мембранного пакету $l_p = 1$ м;

Товщина мембранного пакету, м:

$$\delta_p = \delta_d + 2\delta_1 + 2\delta_2 = 0,004 + 2 \cdot 0,004 + 2 \cdot 0,001 = 0,014$$

Площа поверхні мембрани в одному елементі, м²:

$$F_e = 2l_p l_m = 2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 1,6$$

Площа робочої поверхні мембран в одному модулі, м²:

$$F_m = n_e \cdot F_e = 8 \cdot 1,6 = 12,8$$

Площа робочої поверхні мембран в одному апараті, м²:

$$F_a = n_m \cdot F_m = 4 \cdot 12,8 = 51,2$$

Площа поперечного перерізу апарата, по якому проходить розчин, що розділяється, м²:

$$S_1 = n_e l_p \delta_c = 8 \cdot 1 \cdot 0,005 = 0,004$$

Площа поперечного перерізу апарата, зайнята пакетами мембран, м²:

$$S_2 = n_e l_p \delta_p = 8 \cdot 1 \cdot 0,014 = 0,056$$

Площа поперечного перерізу апарату з урахуванням запасу на конструктивні елементи, м²:

$$S_A = 1,1 \cdot (S_1 + S_2) = 1,1 \cdot (0,004 + 0,056) = 0,066$$

Внутрішній діаметр апарата, м:

$$d_a = \sqrt{\frac{4S_A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,066}{3,14}} = 0,29$$

де π - ірраціональна константа, $\pi = 3,14159...$

Загальна кількість апаратів у мембранній установці, шт.:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		77

$$n = \frac{F}{F_a} = \frac{77,301}{51,2} = 1,423$$

Приймаємо $n=2$

4.3.3 Секціювання апаратів в установці

Визначається витрата пермеату в одному апараті, кг/с:

$$L_{pa} = G \cdot F_a = 2,049 \cdot 10^{-3} \cdot 51,2 = 0,105$$

Визначається кількість апаратів в першій секції, шт.:

$$n_1 = \frac{L_f (1 - 1/q)}{L_{pa}} = \frac{0,231 \cdot (1 - 1/1,4)}{0,105} = 0,629$$

де $q=1,4$ - припустиме зниження витрат за довжиною апарата.

Приймаємо $n_1 = 1$

Визначається кількість апаратів в другій секції шт.:

$$n_2 = \frac{n_1}{q^{2-1}} = \frac{1}{1,4^{2-1}} = 0,714$$

Приймаємо $n_2 = 1$

4.3.4 Розрахунок спостережуваної селективності

Для заданої солі за концентрації в сировині та ретантаті знаходять значення густини, коефіцієнту кінематичної в'язкості та коефіцієнта дифузії [4, додаток Б]:

$$\nu_{1f} = 8,983 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{c}$$

$$D_{1f} = 1,3739 \cdot 10^{-9} \frac{m^2}{c}$$

$$\rho_{1f} = 998,6 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu_{1r} = 0,9015 \cdot 10^{-7} \frac{m^2}{c}$$

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{1r} = 1,3625 \cdot 10^{-9} \frac{M^2}{c}$$

$$\rho_{1r} = 1002,6 \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$

Визначається критерій Шмідта на вході і на виході в установку:

$$Sc_{1f} = \frac{\nu_{1f}}{D_{1f}} = \frac{8,983 \cdot 10^{-7}}{1,3739 \cdot 10^{-9}} = 653,832$$

$$Sc_{1r} = \frac{\nu_{1r}}{D_{1r}} = \frac{0,9015 \cdot 10^{-6}}{1,3625 \cdot 10^{-9}} = 661,651$$

Еквівалентний діаметр, м:

$$d_e = 2\delta_c = 2 \cdot 0,005 = 0,001$$

Швидкість руху розчину в каналах модуля, м/с:

в першій секції:

$$w_{1f} = \frac{L_f}{\rho_{1f} S_1 n_1} = \frac{0,231}{998,6 \cdot 0,004 \cdot 1} = 0,058$$

в останній секції:

$$w_{1r} = \frac{L_r}{\rho_{1r} S_1 n_m} = \frac{0,081}{1003 \cdot 0,004 \cdot 1} = 0,02$$

де $n_m = 1$ кількість апаратів в останній секції.

Критерій Рейнольдса:

в першій секції:

$$Re_{1f} = \frac{w_{1f} d_e}{\nu_{1f}} = \frac{0,058 \cdot 0,001}{8,8983 \cdot 10^{-7}} = 333,737$$

в останній секції:

$$Re_{1r} = \frac{w_{1r} d_e}{\nu_{1r}} = \frac{0,03 \cdot 0,001}{9,015 \cdot 10^{-8}} = 22,345$$

Швидкість руху розчину в напрямку мембрани, м/с:

в першій секції:

$$U_{1f} = \frac{G_f}{\rho_{1f}} = \frac{2,185 \cdot 10^{-3}}{998,6} = 2,188 \cdot 10^{-6}$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

в останній секції:

$$U_{1r} = \frac{G_r}{\rho_{1r}} = \frac{1,914 \cdot 10^{-3}}{1003} = 1,909 \cdot 10^{-6}$$

Критерій Пекле

в першій секції:

$$Re_{1f} = \frac{U_{1f} d_e}{D_{1f}} = \frac{2,185 \cdot 10^{-6} \cdot 0,001}{1,374 \cdot 10^{-9}} = 1,593$$

в останній секції:

$$Re_{1f} = \frac{U_{1r} d_e}{D_{1r}} = \frac{1,909 \cdot 10^{-6} \cdot 0,001}{1,374 \cdot 10^{-9}} = 1,401$$

Критерій Шервуда визначається для першої і останньої секції за критеріальними рівняннями. Якщо виконується умова:

$$100 < Re \cdot Sc \frac{d_e}{l_p} < 5000$$

$$Re_{1f} \cdot Sc_{1f} \frac{d_e}{l_p} = 218,208$$

$$100 < 218,208 < 5000$$

$$Re_{1r} \cdot Sc_{1r} \frac{d_e}{l_p} = 14,784$$

$$14,784 < 100$$

Умова в першій секції виконується, а в останній не виконується.

В іншому випадку розраховується безрозмірний комплекс:

$$\xi = \frac{4 Re_{1r}^2 \cdot U_{1r} \cdot l_p}{3 \cdot w_{1r} \cdot d_e} = \frac{4 \cdot 1,401^2 \cdot 1,909 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{3 \cdot 0,02 \cdot 0,001} = 0,248$$

Тоді критерій Шервуда визначається:

$$Sh_{1f} = 1,67 \cdot Re_{1f}^{0,34} \cdot Sc_{1f}^{0,33} \left(\frac{d_e}{l_p} \right)^{0,3} = 1,67 \cdot 333,737^{0,34} \cdot 653,832^{0,33} \cdot \left(\frac{0,001}{1} \right)^{0,3} = 7,002$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Sh_{lr} = \frac{4Pe_{lr}}{\ln\left(\xi + 6 - 5 \cdot \exp\left(-\sqrt{\xi/3}\right)\right)} = \frac{41,401}{\ln\left(0,248 + 6 - 5 \cdot \exp\left(-\sqrt{0,248/3}\right)\right)} = 2,434 \text{ при } \xi > 0,02$$

Коефіцієнт масовіддачі визначається за формулою, кг/(м² с):

в першій секції:

$$\beta_{1f} = \frac{Sh_{1f} D_{1f}}{d_e} = \frac{7,002 \cdot 1,374 \cdot 10^{-9}}{0,001} = 3,749 \cdot 10^{-6}$$

в останній секції:

$$\beta_{lr} = \frac{Sh_{lr} D_{lr}}{d_e} = \frac{2,434 \cdot 1,363 \cdot 10^{-9}}{0,001} = 3,316 \cdot 10^{-6}$$

Розраховуємо комплекс:

в першій секції:

$$\chi_{1f} = \frac{U_{1f}}{2,3\beta_{1f}} + \lg \frac{1 - R_{int}}{R_{int}} = \frac{2,188 \cdot 10^{-6}}{2,3 \cdot 3,769 \cdot 10^{-6}} + \lg \frac{1 - 0,92}{0,92} = -0,808$$

в останній секції:

$$\chi_{lr} = \frac{U_{lr}}{2,3\beta_{lr}} + \lg \frac{1 - R_{int}}{R_{int}} = \frac{1,909 \cdot 10^{-6}}{2,3 \cdot 3,316 \cdot 10^{-6}} + \lg \frac{1 - 0,92}{0,92} = -0,81$$

Спостережувана селективність:

в першій секції:

$$R_{1f} = \frac{1}{10^{\chi_{1f}} + 1} = \frac{1}{10^{-0,808} + 1} = 0,865$$

в останній секції:

$$R_{lr} = \frac{1}{10^{\chi_{lr}} + 1} = \frac{1}{10^{-0,81} + 1} = 0,866$$

Середнє значення спостережуваної селективності:

$$R = \frac{R_{1f} + R_{lr}}{2} = \frac{0,865 + 0,866}{2} = 0,866$$

Концентрація карбаміду у пермеату, мас. частка:

$$x_2 = x_{1f} \frac{1 - K^{\frac{R-1}{R}}}{1 - K^{\frac{-1}{R}}} = 0,1 \cdot \frac{1 - 2,8^{\frac{0,866-1}{0,866}}}{1 - 2,8^{\frac{-1}{0,866}}} = 0,021$$

Витрата пермеату кг/с:

$$L_p = L_{1f} \left(1 - K^{\frac{-1}{R}} \right) = 0,231 \cdot \left(1 - 2,8^{\frac{-1}{0,866}} \right) = 0,161$$

Витрати карбаміду з пермеатом, кг/с:

$$G_{cp} = L_p x_2 = 0,161 \cdot 1,601 \cdot 10^{-4} = 2,089 \cdot 10^{-6}$$

Витрати карбаміду з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісте у початковому розчині, %:

$$G_{c1f} = L_f x_{1f} = 0,231 \cdot 0,1 = 0,023 \text{ кг / с}$$

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{2,089 \cdot 10^{-6}}{0,0231} \cdot 100\% = 0,904$$

$$g_{cp} < [g_{cp}]$$

$$0,904 < 10$$

Умова виконується.

Уточнений розрахунок поверхні мембрани.

Розрахунок проводиться з урахуванням осмотичного тиску розчину біля поверхні мембрани та пермеату. Розрахунки здійснюються для двох граничних перерізів: перерізу на вході до апаратів першої секції та перерізу апаратів на виході з останньої секції.

Концентрація карбаміду в пермеаті, мас. %:

в першій секції:

$$x_{2f} = (1 - R) x_{1f} = (1 - 0,866) \cdot 0,1 = 0,013$$

в останній секції:

$$x_{2r} = (1 - R) x_{1r} = (1 - 0,866) \cdot 0,6 = 0,081$$

Концентрація карбаміду біля поверхні мембрани з боку розчину, що розділяється, мас. %:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в першій секції:

$$x_{3f} = \frac{x_{2f}}{1 - R_{\text{int}}} = \frac{0,013}{1 - 0,92} = 0,168$$

в останній секції:

$$x_{3r} = \frac{0,081}{1 - 0,92} = 1,008$$

Для концентрацій, розраховані за формулами визначаються осмотичні тиски [4, додаток Б], МПа:

$$\pi_{2f} = 0,015; \pi_{2r} = 0,25; \pi_{3f} = 0,29; \pi_{3r} = 0,37.$$

Проникненість мембрани, кг/(м² с):

в першій секції:

$$G_f = G_0 \left(1 - \frac{\pi_{3f} - \pi_{2f}}{\Delta p} \right) = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{0,29 - 0,015}{5} \right) = 7,087 \cdot 10^{-3}$$

в останній секції:

$$G_r = G_0 \left(1 - \frac{\pi_{3r} - \pi_{2r}}{\Delta p} \right) = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{0,37 - 0,25}{5} \right) = 7,32 \cdot 10^{-3}$$

Константи системи:

в першій секції:

$$C_f = \frac{G_0 - G_f}{x_{1f}} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} - 7,087 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 4,125 \cdot 10^{-3}$$

в останній секції:

$$C_r = \frac{G_0 - G_r}{x_{1r}} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} - 7,32 \cdot 10^{-3}}{0,1} = 6,874 \cdot 10^{-4}$$

Якщо розбіжність між константами перевищує 20%, то інтервал $[x_{1f}, x_{1r}]$ розбивається на кілька частин та знаходять для кожної з них середнє значення константи С.

$$C = \frac{C_f + C_r}{2} = \frac{4,125 \cdot 10^{-3} + 6,875 \cdot 10^{-4}}{2} = 2,406 \cdot 10^{-3}$$

Площа поверхні мембрани обчислюється за формулою, м²:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_1 = \frac{L_f x_{1f}}{G_0} \left[-\ln \frac{(G_0 - Cx_{1r}) x_{1f}}{(G_0 - Cx_{1f}) x_{1r}} + \frac{1}{x_{1f}} - \frac{1}{x_{1r}} \right] =$$

$$= \frac{0,231 \cdot 0,1}{2,3 \cdot 10^{-3}} \left[-\ln \frac{(2,3 \cdot 10^{-3} - 2,406 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6) \cdot 0,1}{(2,3 \cdot 10^{-3} - 2,406 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1) \cdot 0,6} + \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,6} \right] = 37,883$$

Знаходження площі поверхні мембрани з запасом, M^2 :

$$\frac{|F - F_1|}{F} \cdot 100\% = \frac{|73,301 - 37,883|}{22,235} \cdot 100\% = 48,319$$

4.3.5 Розрахунок гідравлічного опору

Метою розрахунку є визначення абсолютного тиску та підбору насосу. Розрахункова схема гідравлічного розрахунку наведена на рисунку 4.14.

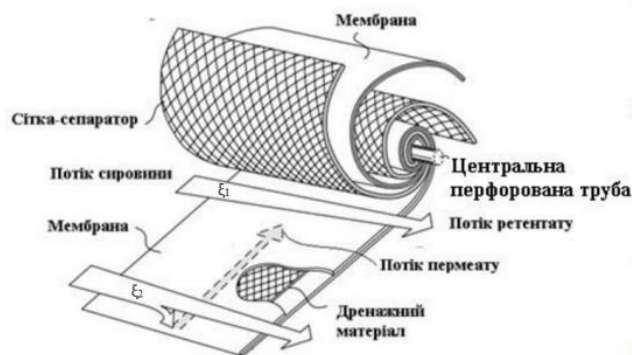


Рисунок 4.14 – Схема гідравлічного розрахунку апарату зворотного осмосу

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [4].

Гідравлічний опір розраховується для визначення абсолютного тиску та підбору насосу.

Гідравлічний опір потокам початкового розчину та пермеату становить: Еквівалентний діаметр каналу становить $2\delta_c$. Швидкість руху розчину, його густина та в'язкість визначаються як середні в першій та останній секціях i , відповідно, становлять:

$$w_1 = \frac{(w_{1f} + w_{1r})}{2} = \frac{(0,092 + 0,02)}{2} = 0,056 \frac{м}{с}$$

$$\rho_1 = \frac{(\rho_{1f} + \rho_{1r})}{2} = \frac{(998,6 + 1003)}{2} = 1001 \frac{кг}{м^3}$$

$$v_1 = \frac{(v_{1f} + v_{1r})}{2} = \frac{(8,893 \cdot 10^{-7} + 9,015 \cdot 10^{-8})}{2} = 8,999 \cdot 10^{-7} \frac{м^2}{с}$$

Гідрравлічний опір потоку, Па:

$$\Delta p_1 = \xi_1 \frac{48 v_1 \cdot \rho_1 \cdot l \cdot w_1}{d_e^2} = 10 \cdot \frac{48 \cdot 8,999 \cdot 10^{-7} \cdot 1001 \cdot 1,6 \cdot 0,056}{0,001^2} = 1,938 \cdot 10^4$$

$$\Delta p_2 = \xi_2 \frac{48 v_2 \cdot l_p^2 \cdot (G_f - G_r)}{d_e^3} = 100 \cdot \frac{48 \cdot 5,121 \cdot 10^{-7} \cdot 1^2 \cdot (2,185 \cdot 10^{-3} - 1,914 \cdot 10^{-3})}{0,001^2} = 667,123$$

де ξ_1 коефіцієнт опору сітки-сепаратора, $\xi_1 = 10$;

ξ_2 коефіцієнт опору дренажного матеріалу, $\xi_2 = 100$.

При визначенні Δp_1 загальна довжина каналу дорівнює добутку висоти модуля, кількості модулів в апараті та числа секцій установки, м:

$$l = l_m \cdot n_m \cdot m = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8$$

Тиск Δp_p , що розвивається насосом, витрачається на створення перепаду тисків Δp , подолання гідрравлічного опору потоку розчину, що розділяється в напірному каналі апаратів Δp_1 та пермеату у дренажних каналах апаратів Δp_2 , а також компенсацію втрат на тертя у трубопроводах та подолання місцевих опорів, МПа:

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \Delta p_1 + \Delta p_2 = 5 + 1,1 \cdot 1,938 \cdot 10^4 + 667,123 = 5,022$$

Напір насоса визначається при густині початкового розчину ρ_{1f} і становить, Па:

$$H = \frac{\Delta p_p}{(\rho_{1f} \cdot g)} = \frac{5,022}{(998,6 \cdot 9,81)} = 512,642$$

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

4.2.3 Розрахунок на міцність одношарової циліндричної обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність. Розрахункова схема наведена на рисунку 4.15.

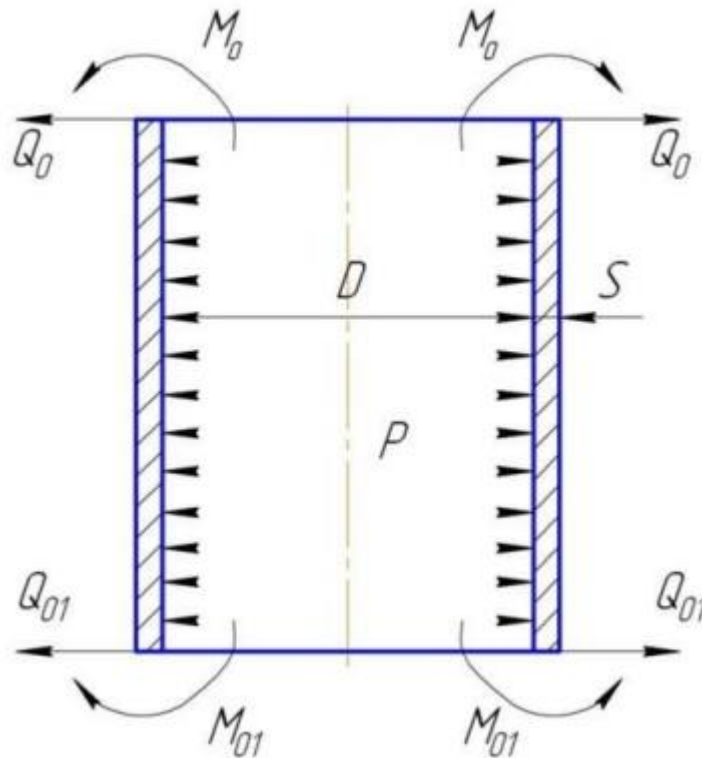


Рисунок 4.15 – Схема розрахунку на міцність одношарової циліндричної обичайки

Вихідні дані:

Зварний шов – стиковий, виконується ручну з одного боку. Вся довжина контролюється.

Внутрішній діаметр обичайки D , м 0,3;

Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа 5;

Розрахунок температура t , °C
20.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [27].

Коефіцієнт міцності зварного шва визначаємо залежно від виду зварного шва та довжини швів контролюється.

$$\varphi = 0,9$$

Допустиме напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t=20^{\circ}\text{C}$ допустиме напруження:

$$[\sigma] = \min\left(\frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B}\right) = \min\left(\frac{196}{1,5}; \frac{490}{2,4}\right) = 130,667 \text{ МПа}$$

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності:

$$\beta R = e^{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} = e^{\frac{5}{130,667 \cdot 0,9}} = 1,043 \text{ МПа}$$

Товщина стінки обичайки у першому наближенні, м:

$$S = 0,5 \cdot D \cdot (\beta R - 1) + c_1 + c_0 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot (1,045 - 1) + 2 \cdot 10^{-3} + 0,657 \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3}$$

де c_0 - додатак на округлення до стандартної товщини листа,

c_1 - додатак для компенсації корозії та ерозії.

Приймаємо $S = 0,008$

Сума додатків розрахункової товщини c , м:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} + 0 = 4,2 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт товстостінності:

$$\beta = \frac{D + 2 \cdot (S - c)}{D} = \frac{0,3 + 2 \cdot (0,008 - 4,2 \cdot 10^{-3})}{0,3} = 1,06$$

Допустимий тиск, МПа:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta = 130,667 \cdot 0,9 \cdot \ln 1,06 = 6,852$$

$$[p] > p, 6,851 > 5$$

Умова виконується.

Перевірка умови застосування розрахункових формул

$$\frac{(S - c)}{D} = \frac{(0,008 - 4,2 \cdot 10^{-3})}{0,3} = 0,03 \leq 0,4$$

Висновок: умова застосування розрахункових формул виконується.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки $S=0,008$ м.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Згідно закону України про охорону праці на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі та безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, потрібно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно зі встановленими зразками [28].

Темою дисертаційної роботи є: *«Модернізація установки виробництва карбаміду з розробкою випарного апарату та апарату зворотного осмосу»*.

Створення здорових та безпечних умов праці обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, а саме оператора лінії.

Контроль параметрів технологічного процесу здійснює оператор лінії, пульт якого знаходиться у виробничому приміщенні категорії ОНТП 24-86-В, пульт управління якого розташований у виробничому приміщенні з загальною площею $S = 140 \text{ м}^2$ та об'ємом $V = 640 \text{ м}^3$.

При роботі устаткування по виробництву карбаміду виникають небезпечні фактори, які загрожують здоров'ю та життю людини. Тому необхідною вимогою є відповідність цих факторів встановленим державним стандартам, санітарним нормам та правилам.

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами при роботі та обслуговуванні лінії є:

- 1) ураження електричним струмом;
- 2) виробниче освітлення;
- 3) виробничий шум і вібрації;
- 4) повітря робочої зони;
- 5) пожежна безпека.
- 6) надзвичайні ситуації

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Устаткування лінії, що розробляється в проекті буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Згідно ПУЕ воно відноситься до приміщень з підвищеною безпекою. На пульті управління машиніста напруга $U = 220 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$. Тип електромережі змінний із глухозаземленою нейтраллю.

Основними заходами від ураження електричним струмом є:

- 1) ізоляція струмопровідних частин пульта керування ($R \geq 0,5 \text{ МОм}$);
- 2) застосування малих напруг і електричний поділ мереж. Для забезпечення безпеки електроспоживачів застосовується напруга до 42 В, для переносного електроінструменту.

- 3) захисне занулення;

- 4) рубильники включення замкнені в спеціальних шафах;

- 5) недоступність

- 6) орієнтація в електроживленні

- 5) при роботі з електроінструментом, застосовуються індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки.

- 6) елементарна мережа орієнтована (забарвленням фаз в різні кольори, різне забарвлення силового і допоміжного устаткування, маркіровка, покажчики небезпечних для життя місць);

- 7) автоматичне блокування електроустановки (не більш 0,2 сек.)

Забороняється:

- 1) проводити роботи на незанулених вузлах лінії;

- 2) проводити ремонт лінії без вимкнення електричної мережі;

- 3) залишати лінію, що працює без нагляду;

Для кращої орієнтації проводиться спеціальне маркування на виробничому обладнанні (у вигляді цифрових, символічних та буквенно-смыслових умовних позначеннях), попереджувальними сигналами, написами і табличками,

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

застережливим знаком «Обережно! Електрична напруга», відповідним розташуванням і забарвленням неізолюваних струмопровідних частин та світловою сигналізацією.

З метою запобігання травм рекомендується прийняти такі міри безпеки: рубильники включення установки знаходяться у спеціальній шафі; встановлені стаціонарні огороження та деякі струмопровідні частини встановлені на недосяжній висоті, блокування у вигляді механічних та електромагнітних замків, проводи проводити в захисних металевих рукавах; на панель керування вивести сигнальні лампи індикації включення електроустаткування; вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для підключення занулення.

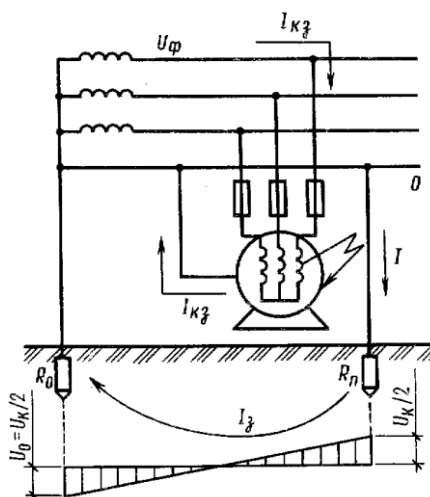


Рисунок 5.1 – Схема занулення електрообладнання

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання, при якому спрацьовує захист (топкі вставки, автомати) і електропристрій вимикається, при цьому $I_{к.з.} \geq 3I_H$, $I_{H(запобіжника)} = 70A$

Відповідно до ГОСТ 12.1.030-81. Струм нульового проводу за умов короткого замикання:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{r_0 + z_0} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 367 A$$

У аварійному режимі застосовується захисне занулення.

5.1.2 Виробниче освітлення

Так як приміщення без віконних проїмів, то під час роботи освітлення штучне. Характеристика зорових робіт: найменший об'єкт має розмір більше 1мм.

Характеристика фону – світлий, контраст об'єкта різниці з фоном – великий.

Норма освітлення робочих місць одна з важливих вимог охорони праці. Для створення світлового комфорту на підприємствах хімічного машинобудування використовують: системне освітлення, штучне освітлення, суміщене освітлення.

Природне та штучне освітлення в приміщенні регламентується в залежності від характеру праці. Для роботи даного відділення природного освітлення не достатньо, треба застосовувати суміщене освітлення.

Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою.

$$h_0 = H - h_c = 4,3 - 0,5 = 3,8 \text{ м}$$

Для світильників загального освітлення зі світлодіодними лампами потужність до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно повинна бути 2,5–4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку h_0 відповідає цій вимозі.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = h_0 - h_p = 3,7 - 0,7 = 3,1 \text{ м}$$

За табличними даними, вибираємо лампу денного світла, потужністю 10 Вт, у кількості 126 шт. світловий потік якої становить 2300 лм, фактична освітленість становить $E_{\phi}=280$ лк (ДБНВ 2.5.28-2006).

5.1.3 Виробничий шум і вібрації

Джерелом шуму при роботі обладнання є:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- електродвигуни;
- вентилятори і система охолодження;
- мембрана.

Рівень шуму в джерелі складає 100 дБА.

Для зменшення виробничого шуму передбачено проведення наступних заходів:

- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться. $\Delta L = 8$ дБа;
- застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів. $\Delta L = 10$ дБа;
- звукоізоляція устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо.

При виконанні заходів по зменшенню виробничого шуму $\Delta L = 30$ дБа, його фактичні показники не перевищуватимуть 70дБА згідно ДСН 3.36.037-99.

Джерелом вібрації є електродвигуни і мембрани на лінії. Вібрації виникають внаслідок неточності установки частин, що працюють під тиском, нещільного з'єднання корпусів обертових частин до фундаменту.

Усунення впливу вібрації досягається наступними заходами:

- обладнання лінії встановлено на фундаменти, маса яких набагато перевищує масу встановленого обладнання;
- використання гумових прокладок в якості амортизаторів;
- проектування додаткових ребер жорсткості.

Рівень технологічної вібрації у виробничому приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц, що відповідає ДСН 3.36.039-99.

Сумарний час роботи в контакт з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість неперервної дії вібрації не перевищує 15 – 20 хв. При такому режимі обідня перерва не менше 40 хвилин.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.4 Повітря робочої зони

Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, який визначається діючими на організм людини в сполученні з температурою, вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням.

Таким чином, основними параметрами мікроклімату є:

- температура повітря, °C ;
- відносна вологість повітря, W % ;
- швидкість руху повітря, м/с;
- інтенсивності теплового випромінювання Вт/м².

Параметри мікроклімату можуть змінюватись в дуже широких межах та суттєво впливає на самопочуття та здоров'я працюючих, продуктивність та якість його праці.

Робота по обслуговуванню установки та випарного апарату належить до робіт середньої важкості з енерговитратами людини 160 – 235 Дж/с. У приміщенні, де встановлена установка, повинні підтримуватися наступні умови:

В теплий період року

- швидкість руху повітря не більше 0,3 м/с;
- відносна вологість не більше 60%;
- температура повітря 23 – 25 °C.

В холодний період року

- швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с;
- відносна вологість не більше 60%;
- температура повітря 20 – 23 °C.

Робота оператора на установці - це важка фізична робота, оскільки лінія працює в умовах шуму, теплових виділень. Робота проводиться в 3 зміни, цілодобово, в усі пори року.

Фактичні параметри умов відповідають нормам і забезпечуються наступними заходами:

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- в холодну пору року підігрів приміщення батареями з теплоносіями води, яка нагріта до температури $50 \div 60^{\circ}\text{C}$;

- в теплу пору року – природна вентиляція через верхні пройоми.

При роботі установки фактична концентрація парів карбаміду складає $1,8 \text{ мг/м}^3$, що нижче нормативної ГДК, котра складає $6 \dots 8 \text{ мг/м}^3$, так як в цеху встановлена приточно-витяжна вентиляція, а над місцем їх випаровування встановлено витяжний зонт (А×В), ВСН 3.3.6.042-99.

Отже хімічний склад повітря робочого місця відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005-88./98

Основна маса шкідливих виділень видаляється місцевим відсмоктуванням, вбудованим в технологічне обладнання.

5.1.5 Пожежна безпека

У виробничому цеху, де працює лінія може горіти: машинне масло, електропроводка, електрообладнання. На основі цього приміщення, де знаходиться обладнання лінії, відноситься до категорії „В” ОНТП 24-86, і класу зони П-І, що відповідає ПУЕ-76.

Застосування пальних речовин у цеху в обмеженій кількості.

1) Вентиляція, обігрів.

2) Серед причин, що можуть призвести до загорання, відзначимо найімовірніші:

- несправність електроживлення;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- використання відкритого вогню в неналежному місці;
- застосування горючих і вибухаючих речовин, їхнє зберігання поблизу установки.

Запобігання запаленням забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- догляд за територією відповідно до вимог пожежної безпеки;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління у спеціальних місцях;
- своєчасне проведення інструкцій серед обслуговуючого персоналу;
- шляхи евакуації;
- вчасна перевірка устаткування, особливо електричного обладнання;
- дотримання вимоги на засоби пожежогасіння;
- наявність пожежної сигналізації (датчик КІ-1, приймальна станція РУОП-1), повідомлення про виникнення пожежі у вигляді сирени або повідомлення по радіо.

Організаційні заходи по попередженню пожежі передбачають: своєчасно проводити профілактичні огляди електрообладнання з метою виявлення небезпечних пошкоджень; ретельно виконувати вимоги правил по пожежній та електробезпеці; перед початком роботи перевіряти справність обладнання.

В робочому приміщенні є два евакуаційних виходи - двостулкові двері шириною 2 м, які відкриваються назовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

В якості засобів гасіння пожежі використовують порошкові вогнегасники ВП-4 (5 шт.), щити (4 шт.) і ящики з піском (3 шт.), котрі знаходяться на видних і загальнодоступних місцях. Також на стелі встановлена система сповіщення.

Випробування та експлуатація установки виконується при дотриманні правил пожежної безпеки.

5.1.6 Надзвичайні ситуації

На відстані 700 м від цеху стався вибух складу з порохом загальною масою – 10 т.

Характеристики елементів цеху:

будівля – зі збірного залізо бетону; верстати – важкі;

кабельні лінії – наземні;

контрольно-вимірювальна апаратура – наявна;

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

границі вогнетривкості несучих стін – 2 год; границі вогнетривкості перегородок – 0,25 год. Категорія виробництва з пожежної безпеки – В. Щільність забудови об'єкту – 25%.

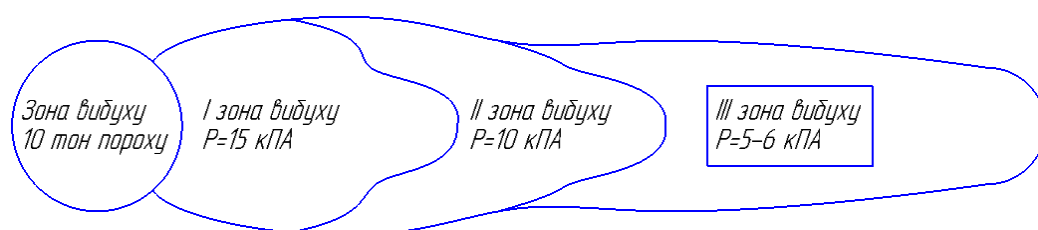
Розрахункова частина:

Зона I : $r_1 = 117\text{м}$;

Зона II: $r_2 = 199\text{м}$;

Висновок: об'єкт опиниться за межами цих зон, тобто у зоні повітряної ударної хвилі (зона III).

Схема зони вибуху на сусідньому підприємстві на рисунку 5.2.



Рисунку 5.2 - Схема зони вибуху на сусідньому підприємстві

$\Delta P_{\phi} = 5-6, \text{кПа}$.

Ступінь руйнування будівлі – середня. Характеристика руйнувань будівлі:

Руйнування даху, легких внутрішніх перегородок, в капітальних стінах з'являються тріщини;

Ступінь руйнування верстатів – слабкі. Характеристика руйнувань промислового обладнання:

Пошкодження окремих елементів обладнання, важелів управління, вимірювальних приладів;

Ступінь руйнування контрольно-вимірювальної апаратури – сильні;
Ступінь руйнування кабельних ліній – слабкі;

Ступінь ураження людей – від прямої дії – слабкі. Характеристика уражень людей:

Ступінь вогнестійкості– III ступінь вогнестійкості; Очікувана пожежна обстановка:

для виробництва категорії пожежної небезпеки В, ступеня вогнестійкості будівель – III, при надмірному тиску 5-6 кПа і щільності забудови більше 20% можна очікувати в перші 30 хвилин окремі пожежі з переростанням за 1...2 год в суцільну.

Безпечна кількість вибухової речовини - менше 4 т.

Визначаємо безпечну кількість пороху для уникнення будь-яких руйнувань, тобто контрольно- вимірювальна апаратура вціліє , якщо кількість пороху буде менше 2 т.

Серед рекомендацій, спрямованих на зменшення заподіяної шкоди та уражень людей, можуть бути такі:

- укріпити будівлю установленням додаткових колон, ферм;
- верстати надійно закріпити на фундаменті, установити захисні навіси;
- кабельні лінії прокласти під землею;
- установити і контролювати стан вогнегасників та протипожежних систем;
- зменшити запасу вибухонебезпечної речовини до безпечної кількості.

План евакуації з виробничого приміщення зображено на рисунку 5.3.

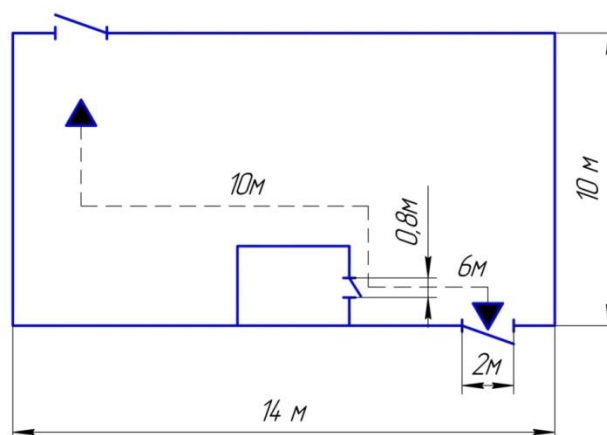


Рисунок 5.3 – План евакуації з виробничого приміщення

Висновки: На відстані 700 м від цеху стався вибух пороху, що призвело до руйнувань будівлі, елементів цеху, постраждали люди. В першу чергу треба сповістити про надзвичайну ситуацію.

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата

При роботі апаратів без лишніх збоїв та аварійних зупинок залежить від монтажу, точності складання, монтажу. Під час розробки робочих документів на машину, розроблюється спеціальна монтажна документація з галузевим стандартом ОСТ 26.08.2017. Згідно вимог по монтажу та експлуатації часткові загальні вигляди та складальні вузли були викладені у кресленнях. Виконувався монтаж обладнання згідно вимог СНП 3.05.05.

Складальна робота з монтажу полягає в установці апарату на фундаменті, та послідовна установка і приєднання допоміжного устаткування: приєднання деталей вузлів, трубопроводів для підводу і відведення продуктів, установка приладів контролю та їх автоматичне регулювання. Під час монтажних робіт можуть виявлятися й усуватися дефекти конструкції.

Установка апаратів здійснюється на контрольну площадку строго вертикальним положенням.

При початковій установці апаратів їх піддають вивірці по осях.

Апарат зворотного осмосу

Проект монтажних робіт апарата зворотнього осмосу виконується у наступній послідовності таких операцій:

- з'єднання мембранних модулів між собою здійснюються за допомогою перехідників.

- потім вставляють в корпус і закривають кришками.

- до фланців приєднуються трубопроводи

Випарний апарат

Виконання установки апарату виконується методом нарощування:

- встановлюємо сепаратор на опорну обичайку, яка спершу виставляється на фундаменті.

- далі приєднується гріюча камера фланцевим з'єднанням до сепаратора, яка також встановлена на власні опори.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- циркуляційна труба, що знаходиться ззовні, кріпиться до колін за допомогою фланцевого з'єднання і з'єднується з сепаратором та гріючою камерою.

Обов'язково мають герметизуватися місця з'єднання апарата (кришки, фланці і т.д.) і випробовують апарат на герметичність.

Для безперервної роботи установок необхідно постійно дотримуватися правил технічної експлуатації, своєчасно виконувати планові, попереджувальні ремонти устаткування, та мати в наявності запасні частини вузлів та деталей, які можуть швидко зношуватися. Особлива увага повинна приділятися контролю виникнення корозії.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація – це діяльність з метою досягнення максимального ступеня упорядкування у певній галузі шляхом встановлення положень для загального і багаторазового використання, щодо реально існуючих і можливих завдань.

Уніфікація – це вибір оптимальної кількості різновидної продукції, процесів та послуг а також значень їх параметрів.

Використання стандартних та уніфікованих деталей зменшує витрати, пов'язані з підготовкою виробництва, сприяє зростанню продуктивності виробництва. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Апарат зворотного осмосу

Загальна кількість деталей, з них стандартних , уніфікованих і унікальних .

Коефіцієнт стандартизації [29]:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{\text{заг}}} = \frac{12}{18} = 0,66,$$

де n_c - кількість стандартних деталей, $n_c = 12$;

$n_{\text{заг}}$ - загальна кількість деталей, $n_{\text{заг}} = 18$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [29]:

$$K_y = \frac{n_c + n_{\text{ун}}}{n_{\text{заг}}} = \frac{12 + 4}{18} = 0,89,$$

де $n_{\text{ун}}$ -кількість уніфікованих деталей, $n_{\text{ун}} = 4$

Випарного апарату

Використання в апарату стандартних та уніфікованих деталей сприяє скороченню витрат, спрощує ремонт обладнання та зменшує час необхідний для обслуговування. Стандартні деталі є взаємозамінними, та не потребують спеціального обладнання для монтажу.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{заг}} = \frac{38}{48} = 0,79,$$

де n_c - кількість стандартних деталей, $n_c=39$;

$n_{заг}$ - загальна кількість деталей, $n_{заг}=49$.

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності :

$$K_y = \frac{n_c + n_{ун}}{n_{заг}} = \frac{38+5}{48} = 0,9,$$

де $n_{ун}$ -кількість уніфікованих деталей, $n_{ун}=5$.

Висновок: розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, які становлять: $K_c=0,79$; $K_y=0,9$.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

8 Розроблення стартап-проекту

8.1. Опис ідеї проекту

Зростання виробництва продукції рослинництва, що спостерігався в останні роки, вимагає розгляду факторів, котрі впливають на врожайність, одним із таких є підвищення родючості ґрунтів внесенням органічних і мінеральних добрив.

Ні у кого не виникає сумніву — для того щоб отримати добрий урожай з землі, потрібно в неї щось вкласти, її також треба живити. І хоча на забезпечення сільського господарства добривами працює ціла галузь, суспільство більше цікавить урожай, а не як він забезпечується, як впливають погодні умови.

Сьогодні, коли сільське господарство України активно розвиває рослинництво, роль добрив у підвищенні врожайності вкрай важлива. Фінансові труднощі й економічний спад 90-х призвели до суттєвого скорочення обсягів внесених добрив і площ удобрених ґрунтів. Однак стабілізація грошової системи дала поштовх для подальшого розвитку агросектору. Так, за останні десять років середні врожайності основних культур (пшениця, ячмінь, кукурудза, соя та інші) зросли в півтора рази.

В основі розробки стартап-проекту є створення компанії з виготовлення апарату для зменшення втрати карбаміду(добрива) при виробництві.

Карбамід широко використовується не тільки в сільському господарстві, так і в промисловості. З нього використовують карбамідні смоли для виробництва цінних пластмас, синтетичних клеїв, складом для пронитки тканин. Карбамід також використовується в фармацевтичній промисловості і для виготовлення синтетичних волокон.

Розчин карбаміду випарюють в випарному апараті і кристалізують чи гранулюють. Випарювання це досить енергозатратний процес, тому що щоб енергозатрати на випарюванні були мінімальні, концентрація карбаміда в розчині повинна бути не нижче 35-40% [1]. При такій концентрації після випарювання

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

відбувається втрата карбаміду з парою близько 5%. Вилучити його з пари економічно не вигідно. тому що потрібні додаткові пристрої, тому придумали пристрій промивач сокових парів, який зменшить на 80-90% втрат карбаміду [1].

Метою діяльності даного спрямована на дослідницькі заходи, покращення та уточнення розробок для подальшого їх впровадження на реальні підприємства. підприємства по збереженню втрат карбаміду у навколишнє середовище, що стане невід'ємною частиною виробництва і зменшить його втрати продукції(карбаміду.

У таблиці 8.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Розроблення стартап-проекту проводився відповідно до методики [30].

Таблиця 8. 1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення інноваційних мінеральних добрив	1. Аграрний комплекс (використання добрив для вирощування с/г культур) 2. Хімічна промисловість (інноваційна технологія для збереження втрат карбаміду при виробництві)	1. Зменшення втрат при виробництві карбаміду 2. Ресурсозбереження за рахунок зменшення при виробництві викиду карбаміду у навколишнє середовище

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик стартап-проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик із спорідненими компаніями, що виготовляють схожі апарати, які також впливають на лінію виробництва карбаміду, а саме «Укртехнофос» та відчизняної «ДніпроАзот», таблиця 8.2.

Сильними сторонами стартап-проекту є: технологічні та енергоефективні особливості для реалізації процесу грануляції, дешевизна устаткування; слабкими сторонами є знаходження коштів на вихід на ринок та бренд по виробництву, який ще нікому не відомий.

Таблиця 8.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	«Укртехно-фос»	«Дніпро Азот»			
1.	Продуктивність устаткування, кг/год	200	150	80	-	-	+
2.	Коефіцієнт при втраті карбаміду, %	3	10	15	-	-	+
3.	Вартість установки, грн	120 000	180 000	210 000	-	-	+
4.	Робота з додатковими системами	так	ні	ні	-	-	+
	Інженерні послуги з модернізації апаратів сільсько-господарській та хімічній галузях	так	так	немає	-	-	Клієнт може сам впевнитись в роботі обладнання

Характеристики інженерні послуги та дослідження нашого проекту є сильною стороною, надаємо всі види інженерних послуг, порівняно з іншими.

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару робить його конкурентоспроможним і перспективним[31].

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Задача вдосконалення є створення компанії з виготовлення апарату для зменшення втрати карбаміду при виробництві добрива. На кожній тонні компоненту ми повертаємо 46 кг карбаміду. В середньому великі підприємства в рік виробляють 1000 тонн карбаміду. Виходять втрати 46000 тонн в рік. Компанії

через це втрачають близько 2 млн. гривень. Тому даний проект є доцільний для фінансування.

Дана технологія виробництва добрив відома у всьому світі, але аналоги дуже сильно відстають від даного впровадження.

Таблиця 8.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виготовлення апарату для зменшення втрат при виробництві карбаміду	Наймання освічених фахівців, створення веб сайту, оренда приміщення.	Такі технології не існують. В їхній розробці є необхідності.	Такі технології знаходяться у відкритому доступі.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Вдосконалення апарату для зменшення втрати карбаміду при виробництві є можливою				

Можна впевнено стверджувати про можливість реалізації проекту з впровадженням в лінію виробництва карбаміду та його подальшу перспективу розвитку.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Найбільш доцільним з точки зору збуту апаратів для лінії виробництва карбаміду слід обирати ринок України, оскільки на сьогоднішній день наша держава має велику кількість родючої землі, на яких потрібне використання добрив, в тому числі карбаміду. Тож, для даного ринку потрібно провести аналіз основних тенденцій. Тому проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Згідно з даними в період з 2014 по 2018 роки простежується чітка динаміка зростання ціни на різноманітні види добрив. Цінова ситуація на вітчизняному ринку мінеральних добрив у цілому характеризується значною їх непередбачуваністю. Відсутній як стабільний тренд на їх підвищення, так і зниження. Певною мірою це зумовлено тим фактом, що попит на мінеральні добрива останніми роками зростає, тоді як їх постачання на внутрішній ринок було диверсифіковане і відбувалося за рахунок вітчизняних та закордонних виробників. Окремий вплив справляло валютне коливання, а також інші чинники економічного характеру та кон'юнктури ринку. [32]

До кінця цього року виробництво найбільш популярного експортного продукту - карбаміду - на черкаському «Азоті» збільшиться. Замість 2000 тонн сечовини на добу завод зможе виробляти 2600 тонн в результаті реконструкції, що триває вже більше року. На одному агрегаті карбаміду потужності залишаться колишніми - 1000 тонн на добу. На другому вони будуть збільшені від 1000 до 1600 тонн, що сумарно виведе виробництво на рівень 2600 тонн на добу [29].

Тому ці проблеми можуть надати поштовх для впровадження власних ідей у розвиток цієї галузі та отриманні на цьому прибутків. Як наслідок, виведення стартапу на нові економічні рівні: зростання, насичення з подальшим розвитком.

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	130 тис. грн/ум.од
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	46%

За результатами аналізу таблиці 8.4 можна зробити висновок що є можливість входження на ринок.

Визначимо потенційних клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5-Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в економії ресурсів, задоволення якої стає можливим шляхом налагодження виробництва новітніх мінеральних добрив.	Підприємства, що займаються виготовленням добрив. Сільськогосподарська та харчова галузь.	Виготовлення апарату для зменшення втрат при виробництві карбаміду у відповідності до норм та стандартів ГОСТ 11987-81	-ресурсо-збереженість; - екологічна ефективність; - ціна.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – пошук раціональних шляхів розв’язання проблеми; всебічне просування власного бренду; повсякденне удосконалення, екологічність та якісний вміст товару.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7.

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока вірогідність появи нових конкурентів на агропромисловому ринку	Тенденції зміни числа конкурентів	Зниження ціни
2	Політичні конфлікти в країнах, що торгують сировиною	Може вплинути на купівлю/продаж товару, або ресурсу	Зміна напрямків імпорту/експорту

	(Україна, РФ)	необхідного для виготовлення товару	
3	Економічна криза	Неможливість модернізації та переобладнання	Зміна ціни на продукт
4	Зростаюча частота світових економічних криз	Мале фінансування, відсутність інвесторів	Пошук шляхів здешевлення товару без компенсування цього за рахунок його якості

Таблиця 8.7 - Фактори можливостей

№ n/n	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зацікавленість іноземних сільськогосподарських компаній у провадженні діяльності в Україні	Збільшується потреба в урожайності СГ культур	Збільшить виробництво товару
2	Науково-технічний прогрес	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить інноваційну технологію виробництва добрив і змінить вартість товару
3	Реформація аграрного сектору України	Збільшиться виснаженість ґрунтів, тому буде великий попит на продукцію	Збільшить виробництво товару та асортимент добрив
4	Відкритість західних кордонів України	Можливість виходу на закордонний ринок витіснивши конкурентів, збільшити прибутки компанії	Просування власного бренду у світі

Отже, обґрунтувавши можливу реакцію компанії на появи нових загроз та можливостей, проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: Монополістична	Товар кожної фірми є недосконалим замінником	Компанія робить ставку на основні відмінності своєї

	товару, який реалізують інші фірми.	продукції
2. Рівень конкурентної боротьби: Національна - конкуренція між компаніями всередині країни	Національні компанії конкурують з іноземними	Вихід на національний ринок. Охоплювати більшу кількість національних клієнтів.
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Апарат можна використовувати для лінії виробництва добрив для сільськогосподарської та хімічної галузі.	Створення удосконаленого обладнання для виготовлення карбаміду, яке спрямоване на зменшенні його втрати при виробництві
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Клієнт вибирає кращу продукцію за властивостями або за вдоволення своїх потреб	Просування та демонстрація товару, його переваг з урахування потреб клієнта.
5. За характером конкурентних переваг: цінова	Диференціація ціни, надійність	Спостереження за продукцією на ринку. Регулювання якості товару
6. За інтенсивністю : марочна	Підвищення каналів збуту, створення власного імені	Реклама в інтернеті та збільшення ділових контактів

8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	постачальник и	клієнти	Товари-замінники
	«Укртехнофос» та «ДніпроАзот»	Бар'єри входження в ринок	Фактори сили постачальників в	Фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки :	Сильні сторони - ціна - ресурсозбереження Слабкі: - мала конкурентно-спроможність на початковій	Існує можливість виходу на ринок, а з цим існує можливість зустріти схожі підприємства-	Постачальник и лише постачають продукцію, транспортування продукції відбувається своїми силами, не	Клієнти диктують умову на ринку. Якщо співвідношення ціна/якість буде не задовольняє	Товари замінники не спостерігаються. Але застарілі підприємства-відомі, хоч і мають продукцію з нижчою якістю. (ПАТ «Одеський припортовий

	стадії виходу на ринок	новатори	диктуючи умов	и, то можуть відмовитися від продукції і вибрати іншу.	завод», «ДніпроАзот»)
--	------------------------	----------	---------------	--	-----------------------

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 8.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 8.2), вимог споживачів до товару (таблиця 8.5) та факторів маркетингового середовища (таблиця № 8.6, 8.17) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблиця. 8.10 [33].

Таблиця 8.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціна	Ціна не повинна дуже відрізнятися від собівартості апарату для зменшення втрат при виробництві карбаміду, адже у іншому випадку клієнт купить апарат у конкурента з меншою ціною
2.	Комплексний підхід	Надання не тільки розробки та модернізації, а також інших послуг(доставки, установки, налаштування)
3.	Швидкість	Надання послуг в короткі терміни, клієнту не потрібно чекати довгий час
4.	Якість	Якість гарантується, адже якість це лице підприємства

За факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) необхідно провести аналіз сильних та слабких сторін для мого стартап-проекту «Карбамід+» (табл. 8.11).

Таблиця 8.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Карбамід+»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Карбамід+»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	20			Сак	ДА, О	Опз		
2.	Комплексний підхід	18			Сак	ДА, О		Опз	
3.	Швидкість	15		Сак		ДА,	Опз		

						О			
4.	Якість	15				ДА, О, Сак	Опз		

де: ПАТ «Одеський припортовий завод»(Опз),

«ДніпроАзот»(ДА),

«Смілянська агрохімічна компанія» (Сак),

Ostchem(О)

Сильні сторони мого стартап-проекту: раціональність ведення цінової політики; інноваційність технології виробництва гуміново-мінеральних добрив; великий асортимент продукції; універсальність застосування енерго- та ресурсозберігаючого обладнання.

Слабкі сторони проекту: малий досвід роботи на ринку з торгівлі даним типом продукції, перехід на закордонний ринок.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу, таблиця 8.12, на основі виділених ринкових можливостей і загроз, враховуючи сильні та слабкі сторони стартап-проекту.

SWOT-аналіз - це процес встановлення зв'язків між найхарактернішими для підприємства можливостями, загрозами, сильними сторонами (перевагами), слабкостями, результати якого в подальшому можуть бути використані для формулювання і вибору стратегій підприємства [34]. Він проводиться з метою дослідження підприємства як господарюючої системи у певному ринковому середовищі. SWOT-аналіз — це своєрідний інструмент; він не містить остаточної інформації для прийняття управлінських рішень, але дає змогу впорядкувати процес обмірковування всієї наявної інформації з використанням власних думок та оцінок. SWOT-аналіз дає змогу формувати загальний перелік стратегій підприємства з урахуванням їхніх особливостей — адаптації до середовища або формування впливу на нього. Широке застосування та розвиток SWOT-аналізу пояснюються тим, що стратегічне управління пов'язане з великими обсягами інформації, яку потрібно збирати, обробляти, аналізувати,

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

використовувати, а відтак виникає потреба пошуку, розробки та застосування методів організації такої роботи.

Таблиця 8.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Унікальність і якість продукції. 2. Новий стан виробництва. 3. Біологічна ефективність добрив. 4. Енергоефективність процесу. 5. Раціональна цінова політика. 6. Асортимент продукції.			Слабкі сторони: 1. Досвід роботи на ринку продажі добрив. 2. Незначне фінансування ззовні. 3. Перехід на закордонний ринок.			
Можливості 1. Науково-технічний прогрес 2. Курс України на трансформацію у аграрний сектор 3. Можливий вихід компанії на міжнародний ринок			Загрози 1. Висока вірогідність появи нових конкурентів. 2. Політичні конфлікти між країнами 3. Складний процес закупівлі сировини для добрив 4. Світова економічна криза			
	Можливості			Загрози		
Сильні сторони	-	+	-	+	-	+
	+	+	-	+	-	-
	+	+	-	-	-	+
Слабкі сторони	+	-	-	+	+	-
	-	+	-	-	+	-
	-	-	+	-	-	-

Після проведення SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення проекту «Карбамід+» на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, які приходять на ринок.

Таблиця 8.13- Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Загарбник	Висока	Близько 1 року
Наступник	Суттєва	Близько 1 року

Зробивши порівняння альтернативного впровадження стартап-проекту обираємо альтернативу - Загарбник. Тобто, необхідно провести пошук такої великої фірми, яка б погодилася здійснювати фінансову підтримку, що дозволило б середньому підприємству залишатися на даному сегменті ринку.

8.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [35].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
1.	Приватні промислові підприємства сільськогосподарських та харчових галузях	80-85%	75-85%	Конкуренція незначна через наявність невеликих компаній, котрі випускають продукт даного типу. Попит залежить від впізнаваності компанії, бренду	Висока
2.	Державні промислові підприємства сільськогосподарських та харчових галузях	70-75%	50-60%	Значна конкуренція, оскільки більшість конкурентів працюють на державному рівні	Середня
Які цільові групи обрано: Для здобуття репутації компанії потрібно починати з приватних невеликих компаній, а в подальшому розповсюджувати на державні підприємства.					

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія концентрованого маркетингу [36].

Для співпраці з обраними сегментами ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, таблиця 8.15, [37].

Таблиця 5.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Модель накопичення досвіду.	Концентрований маркетинг	Супровід систем, їх технічне обслуговування	Стратегія спеціалізації

Отже, для роботи з декількома сегментами на ринку обрано стратегію концентрованого маркетингу, що дозволяє компанії досягти більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [38].

Таблиця 8.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є «пер-що прохідцем»?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Цільова аудиторія на початку роботи компанії обмежиться маленькими приватними секторами. Треба починати з клієнтів, не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати.	Копіювання таких послуг на ринку такі як аудит підприємства	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії «Карбамід+»») та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 8.17, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [39].

Таблиця 8.17 - Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	1. Розумна ціна. 2. Момент часу 3. Якість і екологічність	Стратегія спеціалізації	1. Продукція якісніша за конкурентну 2. Економія на ресурсі за рахунок іновативності процесу 3. Програми лояльності за тривалі контракти 4. Структура (пошарова)	1. Екологічність та надійність. 2. Тривалі контракти. 3. Потреба продукції в даний момент часу.

В результаті виконання даного підрозділу розроблено систему рішень по ринковій поведінці компанії «Карбамід+», яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.18 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [40].

Таблиця 8.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Потреба сільськогосподарських та харчових галузях	Якість, швидкість та надійність, економія і екологічність	Надійність, швидкість, ціна,

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 8.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Виготовлення апарату для зменшення втрат при виробництві карбаміду з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ. Якість, ресурсоефективність, надійність постачання, документи виконані з логотипом підприємства
II Товар у реальному виконанні	Призначення: хімічні та сільськогосподарські виробництва, екологічність: відповідність нормативам.
III. Товар із підкріпленням	Сертифікати якості на продукції, гарантія позитивного результату після застосування, безкоштовна доставка товару в межах держави (Україна).

Впровадження в технологію виробництва мінеральних добрив застосовуючи вдосконалений апарат для зменшення втрат при виробництві карбаміду захищено деклараційними патентами України на корисну модель. Закупівля компонентів на травень 2019 становить:

- амонію сульфат 8250 грн - 1 тонна (Україна);
- карбамід 7800 грн - 1 тонна (Україна);

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 8.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.20. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
18000 грн	23500 грн	425 тис. грн/міс	Верхня: 24000 грн Нижня: 21000 грн

Тепер визначаємо оптимальну систему збуту, таблиця 8. 21.

Таблиця 8.21 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Замовлення проекту	Якість товару, гарантія, доставка, надійність	нульова	Спираючись на власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 8.22).

Таблиця 8.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізоване	Інтернет, виставки апарату для зменшення втрат при виробництві карбаміду., друкована продукція	Продаж якісних апаратів для зменшення втрат при виробництві карбаміду; Чим довше партнерство, тим лояльніші ціни	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних, які показують збільшення ефективності роботи апарату.

Створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, його просування, збут, потреба нових потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

8.7 Висновки

В ході розробки стартап-проекту «Карбамід +» було впроваджено ринкову комерціалізацію проекту. Про це свідчить наявність попиту та потреба в екологічній продукції.

1. Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик із спорідненими компаніями найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей;

3. Ефективність використання апарату нового покоління свідчить про наявність попиту та досягнення фінансового прибутку;

4. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінка динаміки конкуренції в галузі дозволяють стверджувати про реальні перспективи подальшого розвитку стартап-проекту «Карбамід +».

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

Висновки

У магістерській дисертації на тему "Розроблення випарного і мембранного апаратів для модернізації установки виробництва карбаміду" вирішена важлива науково-технічна задача.

. В роботі описано технологічний процес виробництва карбаміду, обрані випарний апарат та апарат зворотного осмосу, обрані технічні характеристики до цих апаратів, обґрунтовано вибрані конструкції апаратів, зіставлені основні показники розроблених конструкцій з аналогами; проведено патентне дослідження, розроблено заходи щодо вимог охорони праці, проведені розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність апаратів, частина розрахунків виконана у вигляді програм з описом методів розрахунку, рекомендацій по установці і робота, стандартизація та уніфікація розроблених пристроїв оцінюються, розробляється проект запуску, технологічний процес виготовлення частини апарату (анти-телескопічний пристрій) і схема автоматичного управління технологічним процесом виробництва карбаміду.

Наукова частина роботи присвячена визначенню селективності мембран відносно карбаміду. Встановлено, що комерційно доступні мембрани для зворотного осмосу дозволяють досягти ступеня концентрування 3, отже можуть бути використані для розділення розчину карбаміду.

Графічна частина проекту містить вісім малюнків в перерахунку формату А1, технічні характеристики складені за кресленнями. Наукова частина дисертації містить результати досліджень процесу виробництва карбаміду. В результаті роботи було подано заявку на декларативний патент України на корисну модель мембранного пристрою, три тези були опубліковані на міжнародних конференціях і наукова стаття.

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Выводы

В магистерской диссертации на тему " Разработка испарительного и мембранного аппаратов для модернизации установки производства карбамида "решена важная научно-техническая задача.

В работе описано технологический процесс производства карбамида, избранные выпарной аппарат и аппарат обратного осмоса, избранные технические характеристики до сих аппаратов, обоснованно выбраны конструкции аппаратов, сопоставлены основные показатели разработанных конструкций с аналогами; проведено патентное исследование, разработаны мероприятия по требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность аппаратов, часть расчетов выполнена в виде программ с описанием методов расчета, рекомендаций по установке и работа, стандартизация и унификация разработанных устройств оцениваются, разрабатывается проект запуска, технологический процесс изготовления части аппарата (анти-телескопическое устройство) и схема автоматического управления технологическим процессом производства карбамида.

Научная часть работы посвящена определению селективности мембран относительно карбамида. Установлено, что коммерчески доступные мембраны для обратного осмоса позволяют достичь степени концентрирования 3, следовательно могут быть использованы для разделения раствора карбамида.

Графическая часть проекта содержит восемь рисунков в пересчете формата А1, технические характеристики составлены по чертежам. Научная часть диссертации содержит результаты исследований процесса производства карбамида. В результате работы была подана заявка на декларативный патент Украины на полезную модель мембранного устройства, три тезиса были опубликованы на международных конференциях и научная статья.

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusions

In the Master's thesis, an evaporator and the reverse osmosis apparatus was developed to modernize the urea production plant the important scientific and technical problem is solved.

The paper describes the technological process of urea production, selected evaporator and reverse osmosis apparatus, selected technical characteristics of these devices, substantiates the selected designs of the apparatus, compared the main indicators of the developed structures with analogs; patent research is conducted, measures on labor protection requirements are developed, calculations are made, confirming the efficiency and reliability of devices, some of the calculations are made in the form of programs with description of calculation methods, recommendations for installation and operation, standardization and unification of developed devices are evaluated, technological project is being developed, the process of manufacturing part of the apparatus (anti-telescopic device) and the scheme of automatic control of the technological process of urea production.

The scientific part of the work is devoted to determining the selectivity of membranes with respect to urea. It has been found that commercially available reverse osmosis membranes allow a concentration of 3 to be reached and can therefore be used to separate the urea solution.

The graphic part of the project contains eight drawings in recalculation of the A1 format, the technical characteristics are drawn according to the drawings. The scientific part of the dissertation contains the results of studies of the urea production process. As a result of the work, an application was made for a patent patent of Ukraine for a utility model of a membrane device, three abstracts were published at international conferences and a scientific article.

					ЛН81мн.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

Перелік посилань

1. Мухленов И. П. Общая химическая технология – Москва "Высшая школа", 1977. - с.:ил., 288 библиогр.
2. С.В. Гулієнко. Процес регенерації рулунуваних мембранних модулів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.17.08/Гулієнко Сергій Валерійович, НТУУ „КПІ”.– Київ, 2016. – 207 с.
3. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
4. Моделювання процесів мембранного розділення: практикум знавчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Гулієнко
5. <https://ukrbukva.net/122952-Ustanovka-obratnogo-osmosa.html>
6. Патент № 127839 UA Україна, МПК(2006.01) B01D/22 заявлено 27.02.2018, опубл. 27.08.2018
7. Патент № 124881 UA Україна, МПК(2006.01) B01D1/06, заявлено 14.11.2017, опубл. 25.04.2018
8. Патент № US2018/0117493F1США, МПК(2006.01) B01D1/22, B01D5/00, B01F7/18, B01F15/06, B01F7/00 заявлено 30.08.2016, опубл. 02.06.2018
9. Патент № 133732 UA Україна, МПК(2019.01) B01D1/12, заявлено 05.10.2018, опубл. 25.04.2019
10. Патент № WO2019/218840A1 Китай, МПК(2006.01) F25F5/00, F25C1/00, F25B2/00, F24F5/00 заявлено 17.05.2018, опубл. 19.04.2019
- 11.Патент № 124881 UA Україна, МПК(2018.01) B01D61/00, заявлено 26.06.2015, опубл. 25.01.2019
- 12.Патент № 128819 UA Україна, МПК(2018.01) B01D29/56, заявлено 04.04.2018, опубл. 10.10.2018
- 13.Патент № RU 2664061 C2 Росія, МПК(2006.01) B01D61/36, заявлено

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

06.08.2014, опубл. 08.08.2018

14. Патент № US2019/00358581A1 США, МПК(2006.01) B01D1/22, B01D5/00, B01F7/18, B01F15/06, B01F7/00 заявлено 30.08.2013, опубл. 05.25.2018
15. Патент № TW201936515A Корея, МПК(2006.01) C02F1/44, C02F5/10, C02F5/14, C02F101/30 заявлено 11.01.2018, опубл. 08.01.2019
16. Аксельруд, Г. А. Растворение твердых веществ [Текст]: научное издание / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. - М. : Химия, 1977. - 272 с. : ил.
17. Радченко Л. Б., Мікульнок І. О. Моделювання процесів хімічної технології. - К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2005. - Ч.1: Теоретичні основи. - 126 с.:
18. Корнієнко Я.М., Гулієнко С.В., Григоренко О.В. (2014), Підвищення ефективності регенерації забруднених рулонованих мем-бранних модулів, наукові парці ОНАХТ, 45(3) – с. 101-104.
19. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.
20. Машины и аппараты химических производств. Под ред. И.И. Чернобыльского Изд. 3-е, перераб. и доп. — М: «Машиностроение», 1975.— 454 с.
21. ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
22. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском: навч. посіб./ — К: НТУУ «КПІ», 2011. — 272 с. — 300 пр.
23. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульнок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.
24. Г. Доброногов, І.О. Мікульнок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995 – 184 с.
25. Мікульнок І.О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних

					ЛН81м.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

виробництв Навч посібник – К НАУК ДУМКА, 1999 – 152с.

- 26.Дослідження процесу зворотного осмосу. Методичні вказівки для проведення науково-дослідної роботи студентів з кредитного модуля «Моделювання процесів мембранного розділення» [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. С.В. Гулієнко– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 14 с.
- 27.Андреєв І.А., О.Г. Зубрій Конструювання та розрахунок апаратів високого тиску. Навч. посібник — К:ІЗМН, 1999. — 144 с.
- 28.Основи охорони праці/ [Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.]; під ред. К.Н. Ткачука і М.О.Халімовського. —[2 – е вид.]. — Київ: Основа, 2006. – 448 с.
- 29.Мікульонюк І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв– КиївНТУУ «КПІ», 2012 – 442с.
- 30.Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
- 31.<http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/10882-vykorystannia-mineralnykh-dobryv-v-ahrosektori-ukrainy.html>
- 32.<http://www.azot.ck.ua/content/>
- 33.Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 34.Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics"/ S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266

					ЛН81мп.066621.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

- 35.Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / Міжнародна рада з науки (ICSU); Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.
- 36.Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
- 37.Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).
- 38.Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>.
- 39.Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
- 40.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.